

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2000年12月 7日

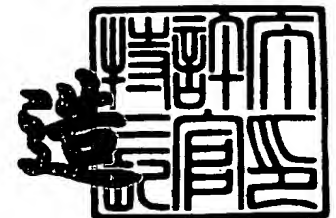
出 願 番 号  
Application Number: 特願2000-372776

出 願 人  
Applicant (s): シャープ株式会社

2001年 1月12日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3111558

【書類名】 特許願

【整理番号】 174443

【提出日】 平成12年12月 7日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

    【氏名】 倉橋 孝尚

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

    【氏名】 細羽 弘之

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

    【氏名】 中津 弘志

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

    【氏名】 村上 哲朗

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

    【氏名】 大山 尚一

【特許出願人】

    【識別番号】 000005049

    【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

    【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100062144

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 葆

【選任した代理人】

【識別番号】 100084146

【弁理士】

【氏名又は名称】 山崎 宏

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000- 29030

【出願日】 平成12年 2月 7日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013262

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0003090

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 GaAs基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜がGaAs基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子において、

上記発光層上に層数が1以上の半導体層が形成され、この半導体層の表面が粗面であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の半導体発光素子において、上記GaAs基板上に形成される発光層は、単層あるいは複数層からなる $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ )であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の半導体発光素子において、表面が粗面である上記半導体層は、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の半導体発光素子において、上記 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) からなる半導体層は、発光波長に対して透明であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 5】 請求項 3 または 4 に記載の半導体発光素子において、上記 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) からなる半導体層は、Alの混晶比xが0.5~0.8であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 6】 請求項 3 , 4 , 5 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子において、上記 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) からなる半導体層と上記発光層との間に、光取り出し側の電極から注入される電流を拡散させる $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ) 層を備えることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 7】 請求項 1 または 2 に記載の半導体発光素子において、表面が粗面である層は、 $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ) からなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 8】 請求項 7 に記載の半導体発光素子において、上記表面が粗面である層は、GaAs基板に対して格子定数が0.5%以上異なることを特徴とす

る半導体発光素子。

【請求項 9】 GaAs 基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜が GaAs 基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子の製造方法において、

上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程と、その後にウエハ表面を粗面化する工程を有することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の半導体発光素子の製造方法において、上記ウエハ表面を粗面化する工程は、フォトリソグラフィーおよびエッチングによってウエハ表面に光を散乱するパターンを形成する工程を含むことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 11】 請求項 9 に記載の半導体発光素子の製造方法において、上記ウエハ表面を粗面化する工程は、ウエハ表面を研磨する工程を含むことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 12】 請求項 9 に記載の半導体発光素子の製造方法において、上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程は、発光層上に  $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層を含む半導体層を形成する工程を含み、上記ウエハ表面を粗面化する工程は、塩酸中でウエハを煮沸する工程を含むことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 13】 GaAs 基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜が GaAs 基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子の製造方法において、

上記発光層上に GaAs 基板に対して格子定数が 0.5 % 以上異なる  $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層を含む層数が 1 以上の半導体層を形成することによってウエハ表面を粗面化することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 14】 請求項 9 に記載の半導体発光素子の製造方法において、上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程は、発光層上に  $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層および  $Al_xGa_{1-x}As$  層を含む半導体層を形成する工程を含み、上記ウエハ表面を粗面化する工程は、希釈フッ酸または希釈硝

酸によって処理する工程を含むことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、伝送用(特に I E E E 1 3 9 4 用)および表示用等に用いられる半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、光通信や情報表示パネル等に半導体発光素子が広く用いられている。これらの半導体発光素子は、発光効率が高いこと、光通信用のものではさらに応答速度が高速であることが重要であり、近年開発が盛んに行われている。

最近、比較的短い距離の通信用にプラスチック光ファイバが利用され始め、このプラスチック光ファイバにとって損失が少ない波長領域は650nmであるので、この波長領域で高効率で発光しうる AlGaInP 系の半導体材料を発光層にもつ高速応答 LED (発光ダイオード)が開発されている。

一方、通常の面発光型 LED の応答性や発光効率を向上させる手段の1つとして、発光層を量子井戸構造にすることが行なわれている。また、光取出し効率を向上させる手段として、発光層と GaAs 基板の間に反射率の高い DBR (Distributed Bragg Reflector: 多層反射膜)を設けることが行なわれている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、上記発光層の下に DBR を設けた面発光型 LED では、発光層が量子井戸活性層である場合、発光層の厚さが 10 nm 程度と非常に薄くなるため、DBR からの反射光が発光層であまり吸収されずに LED 外に放射される。そのため、垂直方向の反射波長が斜め方向の反射波長よりも長くなるという DBR の特性が LED に反映されて、LED の発光波長が放射角依存性をもつようになり、その放射角依存性は通常 0.2 ~ 0.3 nm/deg 程度である。しかし、この程度の放射角依存性でも、LED を表示用に用いた場合、見る角度によって色が変わってしまうという問題が生じる。

また、上記LEDを通信用光源に用いる場合、例えば垂直方向に接続されるプラスチック光ファイバにとって損失が少ない波長領域の650nmに発光波長ピークを持つようにLEDチップを作製すると、斜め方向の出射する光は、ピーク波長が650nmよりも短くなって使用できなくなるという問題がある。

#### 【0004】

そこで、本発明の目的は、半導体発光素子の発光層から発せられ、表面から出射される光を多方向に散乱させる手段を設けることによって、発光波長の放射角依存性を小さくすることができる半導体発光素子およびこの半導体発光素子を簡素に製造できる製造方法を提供することにある。

#### 【0005】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項1の半導体発光素子は、GaAs基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜がGaAs基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子において、上記発光層上に層数が1以上の半導体層が形成され、この半導体層の表面が粗面であることを特徴とする。

#### 【0006】

請求項1の半導体発光素子では、半導体発光素子の表面が、図1(B)に例示するように粗面であるので、図1(A)に例示する平坦面である場合に比して、発光層から発せられ、半導体発光素子の表面から外部に出射される光が、多方向に散乱されるから、半導体発光素子の発光波長の放射角依存性を小さくすることができる。一般に、発光層と基板の間に多層反射膜をもつ半導体発光素子では、発光層からの出た光と多層反射膜で反射した光が、あるいは多層反射膜で反射した光と素子表面で反射した光または再度多層反射膜で反射した光が干渉して、図24に示すように発光スペクトルにリップルが生じる。しかし、請求項1の半導体発光素子では、発光層上に形成された半導体層の表面が粗面になっているので、出射する光がこの粗面で散乱される結果、図25に示すように、上記リップルが緩和されて平均化された滑らかなスペクトル分布になる。従って、請求項1の半導体発光素子によれば、ピーク波長や発光半値幅などの素子特性におけるばらつき



を小さくすることができる。

【0007】

請求項2の半導体発光素子は、上記GaAs基板上に形成される発光層が、単層あるいは複数層からなる $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )であることを特徴とする。

【0008】

請求項2の半導体発光素子では、発光層が、単層あるいは複数層からなる $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )であるので、560nmから660nm程度のピーク波長を持つ発光が可能である。

【0009】

請求項3の半導体発光素子は、上記表面が粗面である上記半導体層が、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなることを特徴とする。

【0010】

請求項3の半導体発光素子では、製造時に表面を粗面にすべき半導体層が、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなるので、この半導体層に他の材料を用いた場合よりもエッチングが容易になる。

【0011】

請求項4の半導体発光素子は、上記 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなる半導体層が、発光波長に対して透明であることを特徴とする。

【0012】

請求項4の半導体発光素子では、表層に相当する上記 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなる半導体層が、発光波長に対して透明であるので、出射光が吸収されにくく、大きな光出力を得ることができる。

【0013】

請求項5の半導体発光素子は、上記 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなる半導体層のAlの混晶比xが0.5~0.8であることを特徴とする。

【0014】

上記半導体層の材料である $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )のAlの混晶比xが0.5以下になると、半導体層の透明度が低下して十分な光出力が得られない一方、Al

の混晶比 $x$ が0.8以上になると、Al酸化物に起因して半導体層の耐湿性に問題が生じる。しかし、請求項5の半導体発光素子では、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )のAlの混晶比 $x$ を0.5~0.8にしているので、光出力不足や耐湿性低下の問題がない。

## 【 0 0 1 5 】

請求項6の半導体発光素子は、上記 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなる半導体層と上記発光層との間に、光取り出し側の電極から注入される電流を拡散させる $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )層を備えることを特徴とする。

## 【 0 0 1 6 】

請求項6の半導体発光素子では、製造時に表面を粗面にすべき半導体層が、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなるので、この半導体層に他の材料を用いた場合よりもエッチングが容易になるとともに、この半導体層と発光層との間に $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )からなる電流拡散層があるので、光取り出し側の合計層厚を薄くして出射光の吸収を低減でき、波長が560nm付近の短波長の発生光も良好に出射させることができる。

## 【 0 0 1 7 】

請求項7の半導体発光素子は、表面が粗面である層が、 $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )からなることを特徴とする。

## 【 0 0 1 8 】

請求項7の半導体発光素子では、表面が粗面である層が、 $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )からなるので、560nm付近の短いピーク波長を持つ発生光も余り吸収されずに良好に出射される。

## 【 0 0 1 9 】

請求項8の半導体発光素子は、上記表面が粗面である層が、GaAs基板に対して格子定数が0.5%以上異なることを特徴とする。

## 【 0 0 2 0 】

請求項8の半導体発光素子では、製造時に表面を粗面にすべき層である $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ )の格子定数が、GaAs基板の格子定数に対して0.5%以上異なる。この格子定数の差に基づき、ウエハ表面は一連の結晶

成長のみによって粗面化できる。従って、結晶成長後に別途ウエハ表面を粗面化する工程を省くことができ、製造をより簡略化することができる。

## 【 0 0 2 1 】

請求項 9 の半導体発光素子の製造方法は、GaAs 基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜が GaAs 基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子の製造方法において、上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程と、その後にウエハ表面を粗面化する工程を有することを特徴とする。

## 【 0 0 2 2 】

請求項 9 の半導体発光素子の製造方法では、発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成した後にウエハ表面をのみ粗面化し、内部層は粗面化されていないので、多層反射膜の反射率を落とすことなく、発光層から発せられ、半導体発光素子の表面から外部に出射される光が、多方向に散乱されるから、半導体発光素子の発光波長の放射角依存性を小さくすることができる。

## 【 0 0 2 3 】

請求項 1 0 の半導体発光素子の製造方法は、上記ウエハ表面を粗面化する工程が、フォトリソグラフィーおよびエッチングによってウエハ表面に光を散乱するパターンを形成する工程を含むことを特徴とする。

## 【 0 0 2 4 】

請求項 1 0 の半導体発光素子の製造方法では、フォトリソグラフィーおよびエッチングによってウエハ表面に光を散乱するパターンを形成するので、微細で精度の高いパターンを形成することができる。

## 【 0 0 2 5 】

請求項 1 1 の半導体発光素子の製造方法は、上記ウエハ表面を粗面化する工程が、ウエハ表面を研磨する工程を含むことを特徴とする。

## 【 0 0 2 6 】

請求項 1 1 の半導体発光素子の製造方法では、ウエハ表面を研磨によって粗面化するので、請求項 4 の半導体発光素子の製造方法のような複雑なフォトリソグラフィーの工程がないから、より簡単な方法で半導体発光素子を製造できる。

## 【 0 0 2 7 】

請求項 1 2 の半導体発光素子の製造方法は、上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程が、発光層上に  $\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{In}_{1-y-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層を含む半導体層を形成する工程を含み、上記ウエハ表面を粗面化する工程が、塩酸中でウエハを煮沸する工程を含むことを特徴とする。

## 【 0 0 2 8 】

請求項 1 2 の半導体発光素子の製造方法では、塩酸中でウエハを煮沸することによってウエハ表面を粗面化するので、粗面化のためにウエハを保持する別の基板やシート等に貼り付ける工程およびウエハを洗浄する工程を省くことができ、請求項 5 の製造方法よりもさらに簡単化が図られる。

## 【 0 0 2 9 】

請求項 1 3 の半導体発光素子の製造方法は、GaAs 基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜が GaAs 基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子の製造方法において、上記発光層上に GaAs 基板に対して格子定数が 0.5 % 以上異なる  $\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{In}_{1-y-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層を含む層数が 1 以上の半導体層を形成することによってウエハ表面を粗面化することを特徴とする。

## 【 0 0 3 0 】

請求項 1 3 の半導体発光素子の製造方法では、格子定数の差により発光層に対して GaAs 基板と反対側に形成された半導体層の表面が粗面になる。従って、一連の結晶成長のみによってウエハ表面が粗面化できるので、結晶成長後に別途ウエハ表面を粗面化する工程を省くことができ、請求項 3、請求項 4、請求項 5 および請求項 6 の製造方法よりもさらに簡略化が図られる。

## 【 0 0 3 1 】

請求項 1 4 の半導体発光素子の製造方法は、上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程が、発光層上に  $\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{In}_{1-y-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層および  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 層を含む半導体層を形成する工程を含み、上記ウエハ表面を粗面化する工程が、希釈フッ酸または希釈硝酸によって処理する工程を含むことを特徴とする。

## 【 0 0 3 2 】

請求項 1 4 の半導体発光素子の製造方法では、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 層の表面を希釈フッ酸または希釈硝酸によって(エッチング)処理することで粗面化が容易にできるとともに、波長が 560nm 付近の短波長の発生光も良好に出射させることができる。

## 【 0 0 3 3 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明を図示の実施の形態により詳細に説明する。

## (実施形態 1)

図 2 (A), (B) は、本発明の第 1 の実施形態である  $\text{AlGaInP}$  系の半導体発光素子の平面図およびその  $b-b$  線断面図である。図 2 (A), (B) において、1 は  $n$  型の  $\text{GaAs}$  基板、2 は  $n$  型の  $\text{GaAs}$  バッファ層、3 は  $n$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  と  $n$  型の  $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  を交互に 20 ペア積層してなる DBR (多層反射膜)、4 は  $n$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる第 1 クラッド層、5 は 80 Å 厚で  $\text{GaInP}$  の井戸層を  $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  のバリア層で挟んでなる量子井戸活性層、6 は  $p$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる第 2 クラッド層、7 は  $p$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  からなる電流拡散層、8 は  $p$  型の  $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなるエッチングストップ層、9 は  $p$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  からなる光散乱層、10 は  $\text{SiO}_2$  膜、11 は  $p$  型電極、12 は基板裏面の  $n$  型電極である。

## 【 0 0 3 4 】

図 3 および図 4 (A), (B) は、図 2 の半導体発光素子の製造工程を示しており、図 4 (B) は平面図である図 4 (A) の  $b-b$  線断面図である。

上記半導体発光素子は、図 3 に示すように、(100) から法線が  $[011]$  方向に  $15^\circ$  だけ傾斜した表面をもつ  $n$  型の  $\text{GaAs}$  基板 1 上に、順次、 $1\mu\text{m}$  厚の  $n$  型  $\text{GaAs}$  バッファ層 2、 $n$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  と  $n$  型  $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  の交互 20 ペア積層からなる DBR 3、 $n$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  の第 1 クラッド層 4、量子井戸活性層 5、 $p$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  の第 2 クラッド層 6、 $3\mu\text{m}$  厚の  $p$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の電流拡散層 7、 $0.1\mu\text{m}$  厚の  $p$  型  $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  のエッチングストップ層 8、 $3\mu\text{m}$  の  $p$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の光散乱層 9 を MOCVD (有

機金属気相成長)法により積層する。

ここで、 $n$ 型 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ と $n$ 型 $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ の交互20ペア積層からなるDBR3は、反射スペクトルの中心が650nmになるようにする。また、量子井戸活性層5の発光ピーク波長も650nmになるようにする。

#### 【0035】

次に、図4(B)に示すように、ウエハ表面にCVD法によって $\text{SiO}_2$ 膜10を形成し、フォトリソグラフィーおよび希釈HFによるエッチングによって図4(A)の如き $70\mu\text{m}\phi$ の円形状の電流経路を形成する。

その後、図2に示すように、 $p$ 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ の光散乱層9および $\text{SiO}_2$ 膜10上にAuZn/Mo/Auをスパッタし、フォトリソグラフィーによるパターンニングにより表面電極を形成し、続いて熱処理して $p$ 型電極11を得る。

さらに、 $p$ 型電極11が形成されていない $70\mu\text{m}\phi$ の円形状の電流経路内の $p$ 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 光散乱層9の表面に、フォトリソグラフィーおよび硫酸/過酸化水素系エッチャントによって $5\mu\text{m}$ ピッチの格子パターンを形成する。このとき、エッチングは、 $p$ 型 $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ のエッチングストップ層8に達するまで行なって格子パターンの深さを制御する。最後に、GaAs基板1の裏面を略 $280\mu\text{m}$ まで研磨し、この研磨した面にAuGe/Auを蒸着した後、熱処理して $n$ 型電極12を形成する。

#### 【0036】

図5は、表面が粗面化された上記第1実施形態の半導体発光素子と、表面が粗面化されていない従来の半導体発光素子とについて、その発光ピーク波長を放射角を変化させて測定した結果を示している。第1実施形態の半導体発光素子は、表面に設けた $p$ 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ の光散乱層9に $5\mu\text{m}$ ピッチで格子パターンが形成されているので、図中の三角印で示す従来の粗面化されていない半導体発光素子に比して、図中の丸印で示すように、発光波長の放射角依存性が小さくなっている。

多層反射膜であるDBR3は、全膜厚が略 $2\mu\text{m}$ であるが、この程度の厚さならGaAs基板1との熱膨張率差による基板の反りやダークラインの発生は認められない。また、DBR3の層数を20ペアにすることによって略90%の高反射

率を実現している。

上記半導体発光素子について、温度  $80^{\circ}$ 、湿度  $85\%$  中で  $50\text{mA}$  の通電試験を行なったところ、 $1000$  時間経過後の光出力が初期の  $90\%$  であった。また、上記半導体発光素子は、電流狭窄構造になっているので、内部量子効率、外部射出効率が共に高く、初期光出力は  $20\text{mA}$  で  $1.6\text{mW}$  と高い値を示した。

#### 【0037】

##### (実施形態 2)

図 6 (A), (B) は、本発明の第 2 の実施形態である  $\text{AlGaInP}$  系の半導体発光素子の平面図およびその  $b-b$  線断面図である。図 6 (A), (B) において、21 は  $n$  型の  $\text{GaAs}$  基板、22 は  $n$  型の  $\text{GaAs}$  バッファ層、23 は  $n$  型の  $\text{AlAs}$  と  $n$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  を交互に 30 ペア積層してなる DBR、24 は  $n$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる第 1 クラッド層、25 は  $80\text{\AA}$  厚の  $\text{GaInP}$  からなる 2 つの井戸層の間と両側に  $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  のバリア層を設けてなる量子井戸活性層、26 は  $p$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる第 2 クラッド層、27 は  $p$  型の  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  からなる電流拡散層、28 は  $p$  型電極、29 は基板裏面の  $n$  型電極である。

#### 【0038】

図 7、図 8 および図 9 (A), (B) は、図 6 の半導体発光素子の製造工程を示しており、図 9 (B) は平面図である図 9 (A) の  $b-b$  線断面図である。

上記半導体発光素子は、図 7 に示すように、 $(100)$  から法線が  $[011]$  方向に  $15^{\circ}$  だけ傾斜した表面をもつ  $n$  型の  $\text{GaAs}$  基板 21 上に、順次、 $1\mu\text{m}$  厚の  $n$  型  $\text{GaAs}$  バッファ層 22、 $n$  型  $\text{AlAs}$  と  $n$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の交互 30 ペア積層からなる DBR 23、 $n$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  の第 1 クラッド層 24、量子井戸活性層 25、 $p$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  の第 2 クラッド層 26、 $10\mu\text{m}$  厚の  $p$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の電流拡散層 27 を MOCVD 法により積層する。

ここで、 $n$  型  $\text{AlAs}$  と  $n$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の交互 30 ペア積層からなる DBR 23 は、反射スペクトルの中心が  $650\text{nm}$  になるようにする。また、量子井戸活性層 25 の発光ピーク波長も  $650\text{nm}$  になるようにする。

#### 【0039】

次に、図 8 に示すように、 $10\mu\text{m}$ 厚の p 型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  からなる電流拡散層 27 の表面を、出射光を散乱させるべく数  $\mu\text{m}$  だけ研磨して粗面化する。

さらに、図 9 に示すように p 型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の電流拡散層 27 上に  $\text{AuZn}/\text{Mo}/\text{Au}$  をスパッタし、フォトリソグラフィによるパターニングにより中央に突出する円形の表面電極を形成し、続いて熱処理して p 型電極 28 を得る。

最後に、図 6 (B) に示すように、GaAs 基板 21 の裏面を略  $280\mu\text{m}$  まで研磨し、この研磨した面に  $\text{AuGe}/\text{Au}$  を蒸着した後、熱処理して n 型電極 29 を形成する。

#### 【0040】

こうして得られた第 2 実施形態の半導体発光素子は、ウエハ表面を研磨により粗面化するので、第 1 実施形態の粗面化に要した複雑なフォトリソグラフィの工程が不要になるから、工程を簡略化することができる。上記半導体発光素子の発光波長の放射角依存性は、図 5 で第 1 実施形態について述べたと同様、十分小さくなっている。また、多層反射膜である DBR 23 は、n 型  $\text{AlAs}$  と n 型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の交互層の層数を 30 ペアにしているので、99% の反射率を実現できる。なお、第 1 実施形態の DBR 3 は、 $\text{AlGaInP}$  系の材料からなるため、GaAs からなる基板 1 との熱膨張率の差が大きく、30 ペアも積層すると結晶中に転位が発生しやすくなって、ダークラインや基板の反りなどの欠陥が生じる。これに対し、第 2 実施形態の DBR 23 は、GaAs 基板 21 と熱膨張率が近い  $\text{AlGaAs}$  系の材料からなるので、ダークラインや基板の反りなどの問題は生じない。

第 2 実施形態の半導体発光素子についても、第 1 実施形態と同様、温度  $80^{\circ}$ 、湿度 85% 中で 50mA の通電試験を行ない、1000 時間経過後の光出力が初期の 90% という結果が得られた。また、初期の 20mA での光出力が 1.0mW であり、この値は、第 2 実施形態が電流狭窄構造でないため、光取り出し効率が第 1 実施形態に比べて略 4 割低下することを考慮すれば、十分高いといえる。

#### 【0041】

##### (実施形態 3)

図 10 (A), (B) は、本発明の第 3 の実施形態である  $\text{AlGaInP}$  系の半導体発



光素子の平面図およびそのb-b線断面図である。図10(A),(B)において、41はn型のGaAs基板、42はn型のGaAsバッファ層、43はn型のAlAsとn型の $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ を交互に70ペア積層してなるDBR、44はn型の $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる第1クラッド層、45は80Å厚の $(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる4つの井戸層の間と両側に $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ のバリア層を設けてなる量子井戸活性層、46はp型の $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる第2クラッド層、47はp型のAlGaInPからなる中間層、48はp型のAlGaInPからなる第1電流拡散層、49はn型のAlGaInPからなる電流狭窄層、51はp型のAlGaInPからなる第2電流拡散層、52はp型電極、53は基板裏面のn型電極である。

## 【0042】

図11、図12(A),(B)および図13(A),(B)は、図10の半導体発光素子の製造工程を示しており、図12(B),図13(B)は平面図である夫々図12(A),図13(A)のb-b線断面図である。

上記半導体発光素子は、図11に示すように、(100)から法線が[011]方向に15°だけ傾斜した表面をもつn型のGaAs基板41上に、順次、1μm厚のn型GaAsバッファ層42、n型AlAsとn型 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ の交互70ペア積層からなるDBR43、n型 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ の第1クラッド層44、量子井戸活性層45、p型 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ の第2クラッド層46、0.15μm厚のp型AlGaInPの中間層47、1μm厚のp型AlGaInPの第1電流拡散層48、0.3μm厚のn型AlGaInPの電流狭窄層49、0.01μm厚のn型GaAsのキャップ層50をMOCVD法により積層する。

ここで、n型AlAsとn型 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ の交互70ペア積層からなるDBR43は、反射スペクトルの中心が570nmになるようにする。また、量子井戸活性層45の発光ピーク波長も570nmになるようにする。

## 【0043】

次に、n型GaAsのキャップ層50を硫酸／過酸化水素系エッチャントで除去した後、図12(A),(B)に示すように、フォトリソグラフィーおよび硫酸／過酸化水素系エッチャントにより、n型AlGaInPの電流狭窄層49の中央をp

型AlGaInPの第1電流拡散層48に達するまでエッチングして、 $70\mu\text{m}\phi$ の円形状の電流経路を形成する。

その後、図13に示すように、n型AlGaInPの電流狭窄層49およびp型AlGaInPの第1電流拡散層48上に $7\mu\text{m}$ 厚のp型AlGaInPの第2電流拡散層51を再成長させる。

さらに、図10(B)に示すように、p型AlGaInPの第2電流拡散層51上にAuBe/Auを蒸着し、フォトリソグラフィーおよびAuエッチャントによるエッチングによって図10(A)の如き表面電極を形成した後、熱処理してp型電極52を得る。

次いで、ウエハを $65\sim 70^{\circ}\text{C}$ の塩酸中で煮沸して、p型電極52で覆われていないp型AlGaInPの第2電流拡散層51の表面を粗面化する。最後に、GaAs基板41の裏面を略 $280\mu\text{m}$ まで研磨し、この研磨した面にAuGe/Auを蒸着した後、熱処理してn型電極53を形成する。

#### 【0044】

こうして得られた第3実施形態の半導体発光素子は、ウエハを塩酸中で煮沸して表面を粗面化しているので、第2実施形態の場合のようにウエハをシートや他のウエハ等に貼り付けて研磨した後、取り外して洗浄するという工程が不要になるから、工程を簡略化することができる。上記半導体発光素子の発光波長の放射角依存性は、既述の第1,第2実施態様と同じく十分小さくなっている。また、DBR43の層数を70ペアにしているので、99%以上の反射率を実現できる。なお、第3実施形態のDBR43は、GaAs基板41と熱膨張率が近いAlGaAs系の材料からなるので、その全厚が略 $7\mu\text{m}$ と第1実施形態の場合よりも更に厚くなっているが、ダークラインや基板の反りなどの問題は生じない。

第3実施形態の半導体発光素子についても、第1,第2実施形態と同様、温度 $80^{\circ}\text{C}$ 、湿度85%中で50mAの通電試験を行ない、1000時間経過後の光出力が初期の105%という結果が得られた。また、初期光出力は、図10(A)と図2(A)を比較すれば判るように、発光部上の枝状電極の面積を第1実施形態の場合よりも小さくしているので、光取り出し効率が略1割だけ向上して、0.4mWと570nmの発光波長の発光ダイオードとしては高い値を示した。

## 【 0 0 4 5 】

## (実施態様 4)

図 1 4 (A), (B) は、本発明の第 4 の実施形態である AlGaInP 系の半導体発光素子の平面図およびその b-b 線断面図である。図 1 4 (A), (B) において、6 1 は n 型の GaAs 基板、6 2 は n 型の GaAs バッファ層、6 3 は n 型の AlAs と n 型の  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  を交互に 30 ペア積層してなる DBR、6 4 は n 型の  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる第 1 クラッド層、6 5 は 80 Å 厚で GaInP の井戸層を ( $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ ) $\text{In}_{0.5}\text{P}$  のバリア層で挟んでなる量子井戸活性層、6 6 は p 型の  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる第 2 クラッド層、6 7 は p 型の AlGaInP からなる中間層、6 8 は p 型の AlGaInP からなる第 1 電流拡散層、6 9 は n 型の AlGaInP からなる電流狭窄層、7 1 は p 型の AlGaInP からなる第 2 電流拡散層、7 2 は p 型電極、7 3 は基板裏面の n 型電極である。

## 【 0 0 4 6 】

図 1 5、図 1 6 (A), (B) および図 1 7 (A), (B) は、図 1 4 の半導体発光素子の製造工程を示しており、図 1 6 (B), 図 1 7 (B) は平面図である夫々図 1 6 (A), 図 1 7 (A) の b-b 線断面図である。

上記半導体発光素子は、図 1 5 に示すように、(100) から法線が [011] 方向に  $15^\circ$  だけ傾斜した表面をもつ n 型の GaAs 基板 6 1 上に、順次、 $1\mu\text{m}$  厚の n 型 GaAs バッファ層 6 2、n 型 AlAs と n 型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の交互 30 ペア積層からなる DBR 6 3、n 型  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  の第 1 クラッド層 6 4、量子井戸活性層 6 5、p 型  $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  の第 2 クラッド層 6 6、 $0.15\mu\text{m}$  厚の p 型 AlGaInP の中間層 6 7、 $1\mu\text{m}$  厚の p 型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の第 1 電流拡散層 6 8、 $0.3\mu\text{m}$  厚の n 型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の電流狭窄層 6 9、 $0.01\mu\text{m}$  厚の n 型 GaAs のキャップ層 7 0 を MOCVD 法により積層する。

ここで、n 型 AlAs と n 型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の交互 30 ペア積層からなる DBR 6 3 は、反射スペクトルの中心が 650nm になるようにする。また、量子井戸活性層 6 5 の発光ピーク波長も 650nm になるようにする。

## 【 0 0 4 7 】

次に、n 型 GaAs のキャップ層 7 0 を硫酸／過酸化水素系エッチャントで除去

した後、図 1 6 (A), (B) に示すように、フォトリソグラフィーおよび硫酸／過酸化水素系エッチャントにより、 $n$  型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の電流狭窄層 6 9 の中央を  $p$  型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の第 1 電流拡散層 6 8 に達するまでエッチングして、 $70\text{ }\mu\text{m}$  の円形状の電流経路を形成する。

その後、図 1 7 (B) に示すように、 $n$  型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の電流狭窄層 6 9 および  $p$  型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の第 1 電流拡散層 6 8 上に  $7\text{ }\mu\text{m}$  厚の  $p$  型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の第 2 電流拡散層 7 1 を再成長させる。この段階で GaAs 基板 6 1 の格子定数に比して略 3.6% 格子定数の小さい  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の各層 6 8, 6 9, 7 1 が、 $p$  型  $\text{AlGaInP}$  中間層 6 7 上に合計略  $8\text{ }\mu\text{m}$  の厚さで形成されているので、この格子定数の差によってウエハ表面、つまり  $p$  型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の第 2 電流拡散層 7 1 の表面は粗面になる。

【0048】

さらに、図 1 4 (B) に示すように、 $p$  型  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.01}\text{P}$  の第 2 電流拡散層 7 1 上に AuBe/Au を蒸着し、フォトリソグラフィーおよび Au エッチャントによるエッチングによって図 1 4 (A) の如き表面電極を形成した後、熱処理して  $p$  型電極 7 2 を得る。

最後に、GaAs 基板 6 1 の裏面を略  $280\text{ }\mu\text{m}$  まで研磨し、この研磨した面に AuGe/Au を蒸着した後、熱処理して  $n$  型電極 7 3 を形成する。

【0049】

こうして得られた第 4 実施形態の半導体発光素子は、発光層である量子井戸活性層 6 5 上に GaAs 基板 6 1 に対して格子定数が 0.5% 以上異なる  $\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{In}_{1-y-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層を含む 3 つの半導体層 6 8, 6 9, 7 1 を形成してウエハ表面を粗面化するので、第 1 ~ 3 実施形態の場合のように結晶成長後にウエハ表面を粗面化する別途工程が不要になるから、工程を簡略化することができる。

第 4 実施形態の半導体発光素子についても、第 1 ~ 第 3 実施形態と同様、温度  $80^\circ\text{C}$ 、湿度 85% 中で  $50\text{ mA}$  の通電試験を行ない、1000 時間経過後の光出力が初期の 90% という結果が得られた。また、初期光出力は  $20\text{ mA}$  で  $1.7\text{ mW}$  と十分高い値を示した。

## 【0050】

図18は、上記第4実施形態の半導体発光素子について発光ピーク波長の放射角依存性を測定した結果を示す図5と同様の図である。第4実施形態の半導体発光素子では、格子定数差によるウェハ表面の粗面化の程度が他の実施形態よりも小さいため、発光波長の放射角依存性は、図中の丸印で示すように図中の三角印の粗面化なしの場合よりは格段に良いが、僅かに傾いていて他の実施形態に比して依存性が大きくなっている。

## 【0051】

## (実施形態5)

図19(A),(B)は、本発明の第5の実施形態であるAlGaInP系の半導体発光素子の平面図およびそのb-b線断面図である。図19(A),(B)において、81はn型のGaAs基板、82はn型のGaAsバッファ層、83はn型のAlAsとn型の $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ を交互に30ペア積層してなるDBR、84はn型の $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる第1クラッド層、85は80Å厚のGaInPからなる2つの井戸層の間と両側にAlGaInPのバリア層を設けてなる量子井戸活性層、86はp型のAlInPからなる第2クラッド層、87はp型のAlGaInPからなる中間層、88はp型のAlGaInPからなる第1電流拡散層、89はn型のAlGaInPからなる電流狭窄層、91はp型のAlGaInPからなる第2電流拡散層、92は $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ からなる光散乱層、94はp型電極、95はn型電極である。

## 【0052】

図20、図21(A),(B)、図22(A),(B)および図23(A),(B)は、図19の半導体発光素子の製造工程を示しており、図21(B)、図22(B)、図23(B)は、平面図である夫々図21(A)、図22(A)、図23(A)のb-b線断面図である。

上記半導体発光素子は、図20に示すように、(100)から法線が[011]方向に15°だけ傾斜した表面をもつn型のGaAs基板81上に順次1μm厚のn型のGaAsバッファ層82、n型AlAsとn型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ の交互30ペア積層からなるDBR83、n型 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ の第1クラッド層84、量子井戸活性層8

5、p型 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ の第2クラッド層86、 $0.15\mu\text{m}$ 厚のp型 $\text{AlGaInP}$ の中間層87、 $1\mu\text{m}$ 厚のp型 $\text{AlGaInP}$ の第1電流拡散層88、 $0.3\mu\text{m}$ 厚のn型 $\text{AlGaInP}$ の電流狭窄層89、 $0.01\mu\text{m}$ 厚のn型GaAsのキャップ層90をMOCVD法により積層する。

ここで、n型 $\text{AlAs}$ とn型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ の交互30ペア積層からなるDBR83は、反射スペクトルの中心が650nmになるようにする。また、量子井戸活性層85の発光ピーク波長も650nmになるようにする。

#### 【0053】

次に、n型GaAsのキャップ層90を硫酸／過酸化水素系エッチャントで除去した後、図21に示すように、フォトリソグラフィーおよび硫酸／過酸化水素系エッチャントによりn型 $\text{AlGaInP}$ の電流狭窄層89をp型 $\text{AlGaInP}$ の第1電流拡散層88に達するまでエッチングして、 $70\mu\text{m}\phi$ の円形状の電流経路を形成する。

その後、図22に示すように、n型 $\text{AlGaInP}$ の電流狭窄層89およびp型 $\text{AlGaInP}$ の第1電流拡散層88上に $7\mu\text{m}$ 厚のp型 $\text{AlGaInP}$ の第2電流拡散層91、 $3\mu\text{m}$ 厚のp型 $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ の光散乱層92、 $0.1\mu\text{m}$ 厚のp型GaAsのキャップ層93を順次再成長させる。

#### 【0054】

さらに、図23に示すように、p型 $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ の光散乱層92およびp型GaAsのキャップ層93を中央部が $100\mu\text{m}\phi$ の大きさに $70\mu\text{m}\phi$ の電流経路上に残るようにパターニングする。

その後、p型GaAsのキャップ層93およびp型 $\text{AlGaInP}$ の第2電流拡散層91を覆うように全面にAuBe/Mo/Auを蒸着し、フォトリソグラフィーおよびAuエッチャントとMoエッチャントを用いたエッチングによって、p型GaAsのキャップ層93が露出するようにAuBe/Mo/Auをエッチングする。次いで、硫酸／過酸化水素系エッチャントでp型GaAsのキャップ層93を図19(B)の如く除去し、露出したp型 $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ の光散乱層92の表面を、希釈フッ酸で処理して粗面化し、さらに熱処理によって周縁部をp型電極94とする。

最後に、GaA基板の裏面を略 $280\mu\text{m}$ まで研磨し、この研磨した面にAuGe/Auを蒸着した後、熱処理してn型電極95を形成する。

#### 【0055】

こうして得られた第5実施形態の半導体発光素子は、第2電流拡散層91の上層の光拡散層92を粗面化するから、第2電流拡散層51を直接粗面化する第3実施形態(図10参照)に比べて、図23に示す円形状パターニングのためのフォトリソグラフィ工程が余分に必要になる。他方、第5実施形態の半導体発光素子では、光取り出し側のp型電極94の材料にバリアメタルとしてMoを含むAuBe/Mo/Auを用いているので、第3実施形態に比べて動作電圧を低くすることができる。なぜなら、第3実施形態では、塩酸中で煮沸して粗面化を行うため、バリアメタルのないAuBe/Auをp型電極52に用いる必要があるから、バリアメタルのある第5実施形態に比して動作電圧が略0.1V高くなるのである。また、バリアメタルのない第3実施形態では、下層のGaが電極表面へ拡散して、ボンディング性が悪化し、歩留まりが低下するが、第5実施例ではこのような問題は生じない。

#### 【0056】

一方、第5実施形態による半導体発光素子の発光波長の放射角依存性は、図5で述べた第1実施形態と同様に小さくなっている。また、DBR(多層反射膜)83にn型AlAsとn型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ からなるAlGaAs系の30ペア積層を用いたので、99%の反射率が達成できるうえ、GaAs基板に対する熱膨張率の差がより大きいAlGaInP系のDBR3を用いた第1実施形態に比して、30ペアの積層でも結晶中に転位が発生したり、ダークラインや基板のそり等が発生することが少ない。

上記半導体発光素子について、温度 $80^{\circ}$ 、湿度85%中で50mAの通電試験を行なったところ、1000時間経過後で光出力が初期の90%であり、初期光出力も20mAで1.7mWが得られた。さらに、20mAにおける動作電圧は、2.2Vと、第3実施形態の20mA、発光波長650nmにおける動作電圧2.3Vに比して0.1V低電圧化することができた。

#### 【0057】

なお、本実施形態ではAlGaAsの光散乱層92のAl混晶比を発生光が吸収される関係から0.6としたが、光散乱層が発光波長に対して透明であればAl混晶比を0.6以下にすることもできる。但し、混晶比は、粗面化工程の制御性保持の観点から0.5以上、耐湿性保持の観点から0.8以下にするのが望ましい。

また、本実施形態では、AlGaAsの光散乱層92をp型としたが、表面が粗面でかつ光を散乱する限りアンドープ型またはn型とすることもできる。

【0058】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように、請求項1の半導体発光素子は、GaAs基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜がGaAs基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子において、上記発光層上に層数が1以上の半導体層が形成され、この半導体層の表面が粗面であるので、発光層から放射された光が半導体発光素子からその外部に出射されるときに多方向に散乱されるので、発光波長の放射角依存性を小さくすることができるとともに、発生光と多層反射膜からの反射光とが干渉して生じる発光スペクトルのリップルも出射時の散乱で緩和することができる。

【0059】

請求項2の半導体発光素子は、請求項1に記載の半導体発光素子において、上記GaAs基板上に形成される発光層が、単層あるいは複数層からなる $\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{In}_{1-y-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )であるので、550nmから680nm程度で発光する半導体発光素子を得ることができる。

【0060】

請求項3の半導体発光素子は、上記表面が粗面である上記半導体層が、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなるので、この半導体層に他の材料を用いた場合よりもエッチングが容易になる。

【0061】

請求項4の半導体発光素子は、上記 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 1$ )からなる半導体層が、発光波長に対して透明であるので、出射光が吸収されにくく、大きな光出力を得ることができる。



## 【 0 0 6 2 】

請求項 5 の半導体発光素子は、上記  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) からなる半導体層の Al の混晶比  $x$  が 0.5～0.8 であるので、適度な透明度を有して十分な光出力が得られるとともに、耐湿性に問題が生じない。

## 【 0 0 6 3 】

請求項 6 の半導体発光素子は、上記  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) からなる半導体層と上記発光層との間に、光取り出し側の電極から注入される電流を拡散させる  $\text{AlGaInP}$  層を備えるので、粗面層に他の材料を用いた場合よりもエッチングが容易になるとともに、電流拡散層によって光取り出し側の合計層厚を薄くして短波長の発生光も良好に出射させることができる。

## 【 0 0 6 4 】

請求項 7 の半導体発光素子は、表面が粗面である層が、 $\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{In}_{1-y-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ ) からなるので、粗面層が  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  からなる場合よりも層厚を薄くでき、短波長の発生光も良好に出射させることができる。

## 【 0 0 6 5 】

請求項 8 に記載の半導体発光素子は、上記粗面層が、GaAs 基板に対して格子定数が 0.5% 以上異なる材料からなるので、この格子定数の差により上は表面を結晶成長のみによって粗面化でき、製造工程を簡略化することができる。

## 【 0 0 6 6 】

請求項 9 の半導体発光素子の製造方法は、GaAs 基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜が GaAs 基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子の製造方法において、上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程と、その後にウエハ表面を粗面化する工程を有するので、多層反射膜の反射率を落とすことなく発光層から放射された光を半導体発光素子からその外部に出射させるときに多方向に散乱させて発光波長の放射角依存性を小さくすることができる。

## 【 0 0 6 7 】

請求項 10 の半導体発光素子の製造方法は、請求項 9 に記載の半導体発光素子の製造方法において、上記ウエハ表面を粗面化する工程が、フォトリソグラフィ

ーおよびエッチングによってウエハ表面に光を散乱するパターンを形成する工程を含むので、フォトリソグラフィーおよびエッチングによりウエハ表面に光を散乱するような微細パターンが形成されるから、精度の高いパターン形成が可能である。

## 【 0 0 6 8 】

請求項 1 1 の半導体発光素子の製造方法は、請求項 9 に記載の半導体発光素子の製造方法において、上記ウエハ表面を粗面化する工程が、ウエハ表面を研磨する工程を含むので、請求項 4 の半導体発光素子の製造方法に比較してフォトリソグラフィーの工程がないから、より簡単な方法で半導体発光素子を製造できる。

## 【 0 0 6 9 】

請求項 1 2 の半導体発光素子の製造方法は、請求項 9 に記載の半導体発光素子の製造方法において、上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程が、発光層上に  $\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{In}_{1-y-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層を含む半導体層を形成する工程を含み、上記ウエハ表面を粗面化する工程は、塩酸中でウエハを煮沸する工程を含むので、粗面化の際にウエハを保持する別の基板やシート等への貼り付け工程および洗浄工程が不要になるから、請求項 5 の製造方法より簡単化することができる。

## 【 0 0 7 0 】

請求項 1 3 の半導体発光素子の製造方法は、GaAs 基板上に多層反射膜と発光層が形成され、上記多層反射膜が GaAs 基板と発光層の間に位置し、発光層から表面に向う光が放射角依存性をもつ半導体発光素子の製造方法において、上記発光層上に GaAs 基板に対して格子定数が 0.5 % 以上異なる  $\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{In}_{1-y-z}\text{P}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) 層を含む層数が 1 以上の半導体層を形成することによってウエハ表面を粗面化するので、一連の結晶成長のみによってウエハ表面が粗面化できるから、結晶成長の後に別途ウエハ表面を粗面化する工程が不要になり、請求項 9, 1 0, 1 1, 1 2 の製造方法よりも工程を簡略化することができる。

## 【 0 0 7 1 】

請求項 1 4 の半導体発光素子の製造方法は、上記発光層上に層数が 1 以上の半導体層を形成する工程が、発光層上に AlGaInP 層および AlGaAs 層を含む

半導体層を形成する工程を含み、上記ウエハ表面を粗面化する工程が、希釈フッ酸または希釈硝酸によって処理する工程を含むので、粗面化が容易にできるとともに、波長が560nm付近の短波長の発生光も良好に出射させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 ウエハ表面の粗面化による光散乱を平坦面と比較して示す模式図である。

【図 2】 本発明の第 1 実施形態による半導体発光素子の平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 3】 第 1 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す断面図である。

【図 4】 第 1 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す平面図およびその b-b 線断面図である

【図 5】 第 1 実施形態の半導体発光素子のピーク波長の放射角依存性を示す図である。

【図 6】 本発明の第 2 実施形態による半導体発光素子の平面図およびその b-b 断面図である。

【図 7】 第 2 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す断面図である。

【図 8】 第 2 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す断面図である。

【図 9】 第 2 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す平面図およびその b-b 断面図である。

【図 1 0】 本発明の第 3 実施形態による半導体発光素子の平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 1 1】 第 3 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す断面図である。

【図 1 2】 第 3 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 1 3】 第 3 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す表面図およびその b-b 線断面図である。

【図 1 4】 本発明の第 4 実施形態による半導体発光素子の平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 1 5】 第 4 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す断面図である。

【図 1 6】 第 4 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 1 7】 第 4 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 1 8】 第 4 実施形態の半導体発光素子のピーク波長の放射角依存性を示す図である。

【図 1 9】 本発明の第 5 実施形態による半導体発光素子の平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 2 0】 第 5 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す断面図である。

【図 2 1】 第 5 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 2 2】 第 5 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 2 3】 第 5 実施形態の半導体発光素子の製造工程を示す平面図およびその b-b 線断面図である。

【図 2 4】 従来の半導体発光素子において発生光と多層反射膜からの反射光の干渉により出射光スペクトルに生じるリップルを示す図である。

【図 2 5】 本発明の半導体発光素子の出射光スペクトルを示す図である。

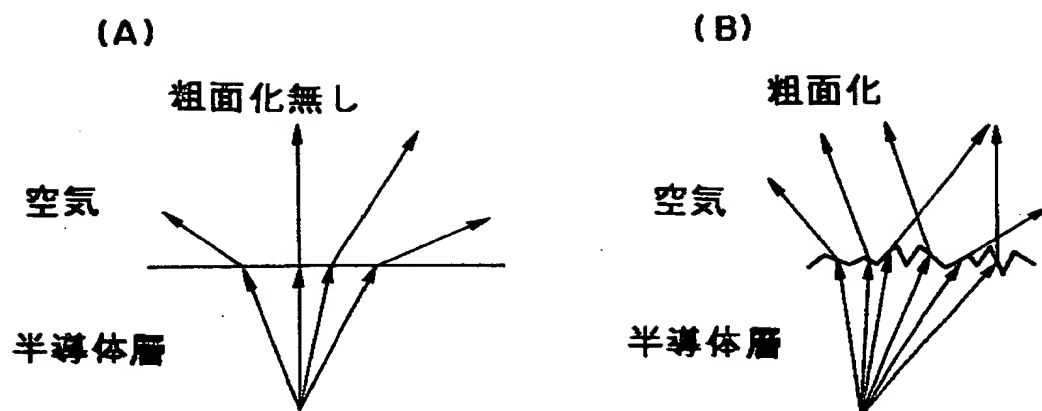
【符号の説明】

- 1, 2 1, 4 1, 6 1, 8 1 n 型 GaAs 基板
- 2, 2 2, 4 2, 6 2, 8 2 n 型 GaAs バッファ層
- 3 n 型 DBR (n 型 AlGaInP 系多層反射層)
- 4, 2 4, 4 4, 6 4, 8 4 n 型  $Al_{0.5}In_{0.5}P$  クラッド層
- 5, 2 5, 4 5, 6 5, 8 5 量子井戸活性層
- 6, 2 6, 4 6, 6 6, 8 6 p 型  $Al_{0.5}In_{0.5}P$  クラッド層
- 7, 2 7 p 型  $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$  電流拡散層

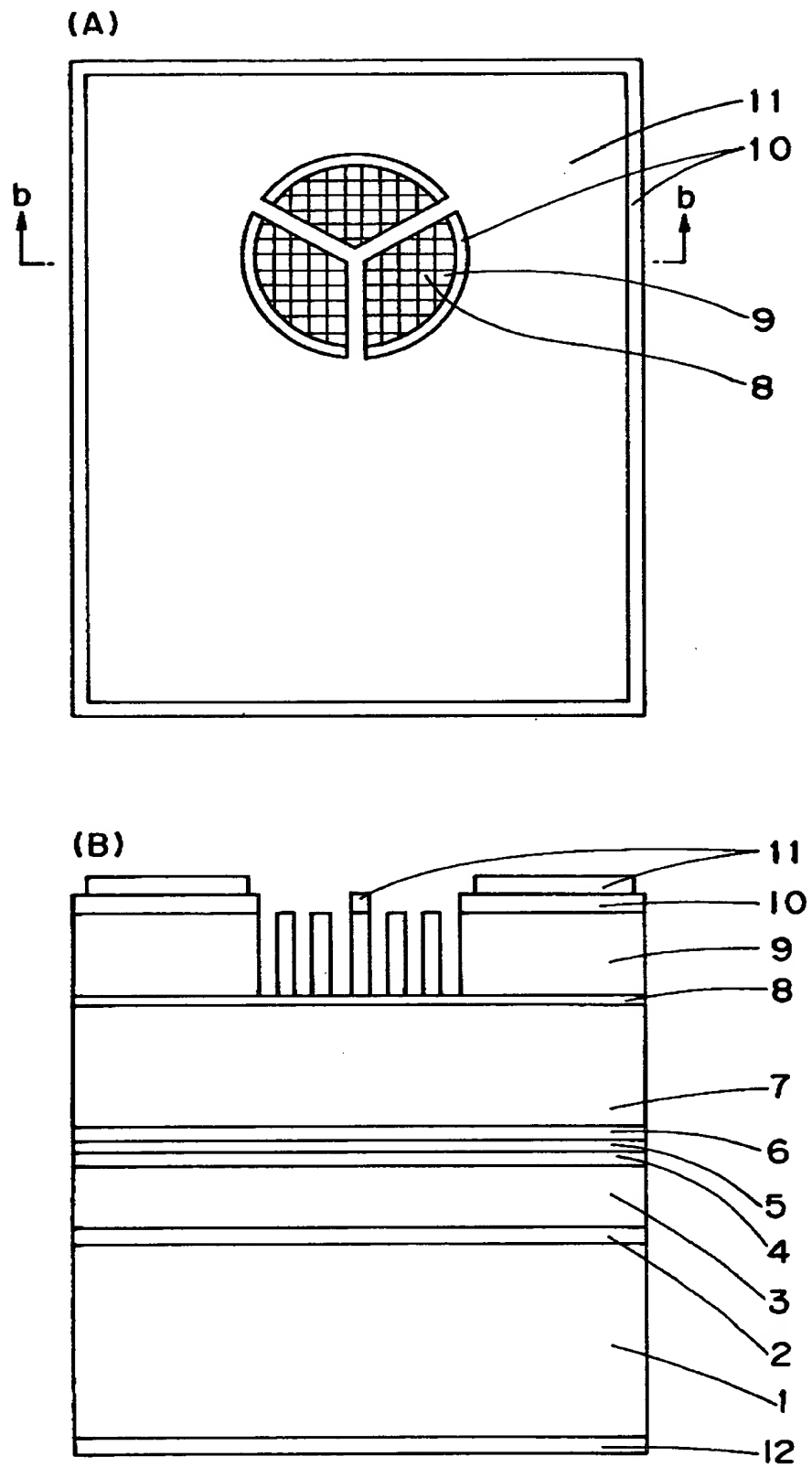
- 8 p 型  $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  エッチングストップ層
- 9 p 型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  の光散乱層
- 10  $\text{SiO}_2$  膜
- 11, 28, 52, 72, 94 p 型電極
- 12, 29, 53, 73, 95 n 型電極
- 23, 43, 63, 83 n 型 DBR (n 型  $\text{AlGaAs}$  系多層反射層)
- 47, 67, 87 p 型  $\text{AlGaInP}$  中間層
- 48, 68, 88 p 型  $\text{AlGaInP}$  第 1 電流拡散層
- 49, 69, 89 n 型  $\text{AlGaInP}$  電流狭窄層
- 50, 70, 90, 93 n 型  $\text{GaAs}$  キャップ層
- 51, 71, 91 p 型  $\text{AlGaInP}$  第 2 電流拡散層
- 92 p 型  $\text{AlGaAs}$  光散乱層
- 93 p 型  $\text{GaAs}$  キャップ層

【書類名】 図面

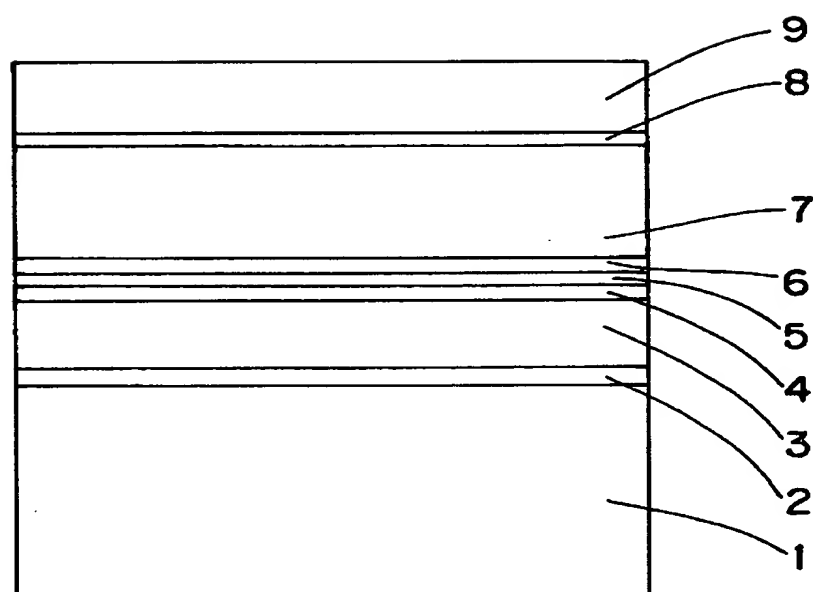
【図 1】



【図 2】

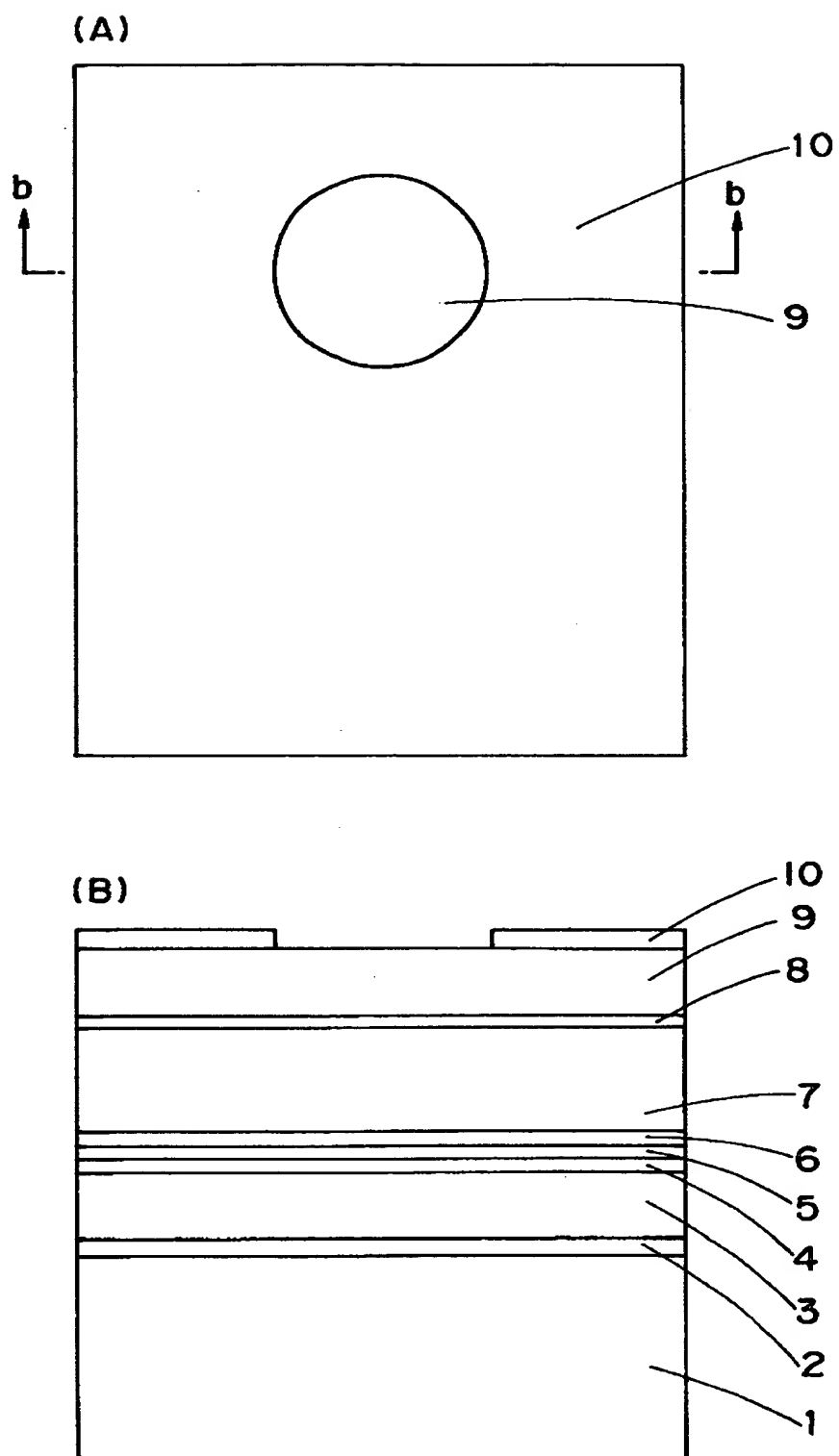


【図 3】

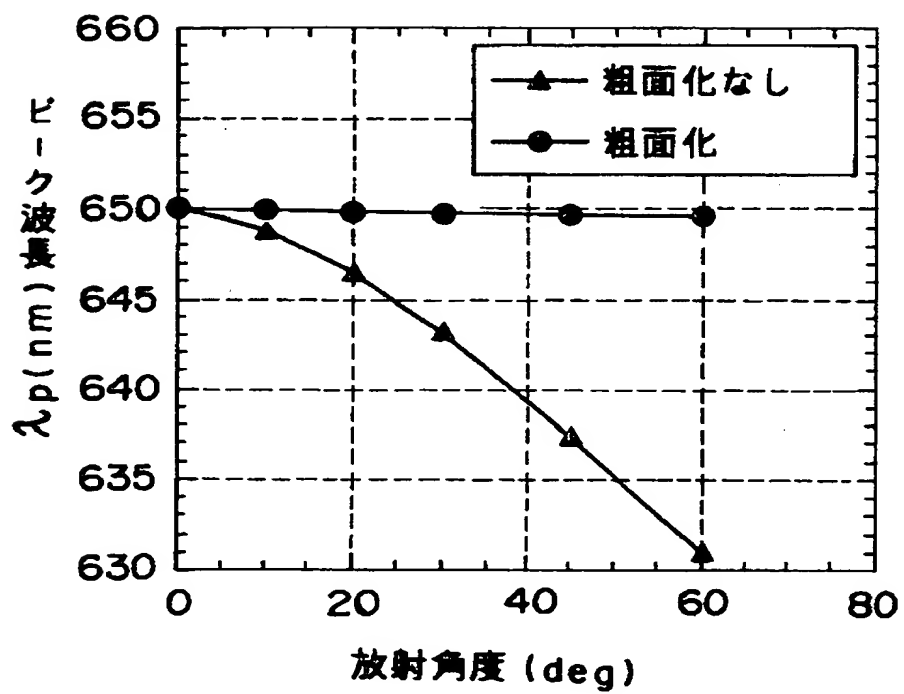




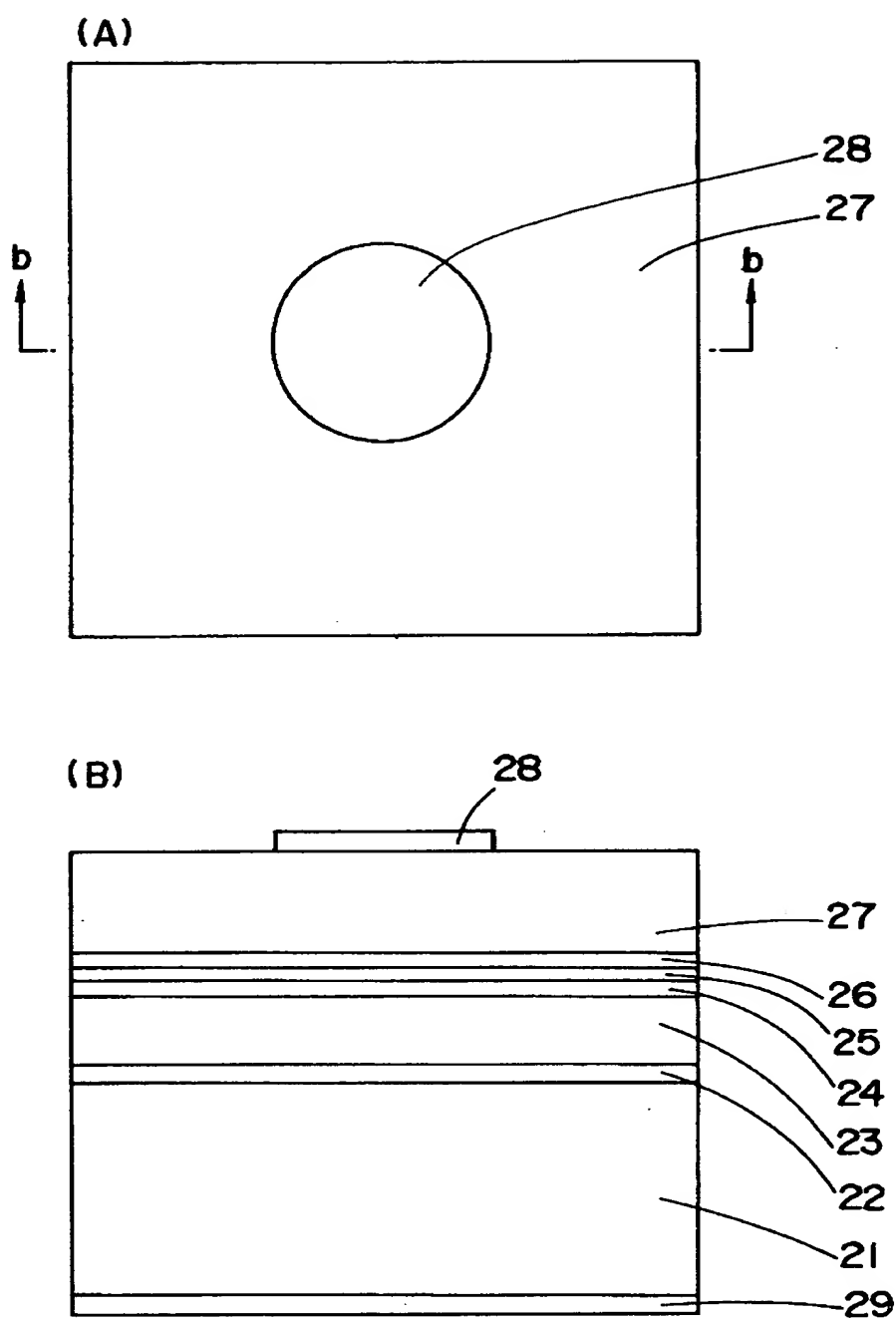
【図 4】



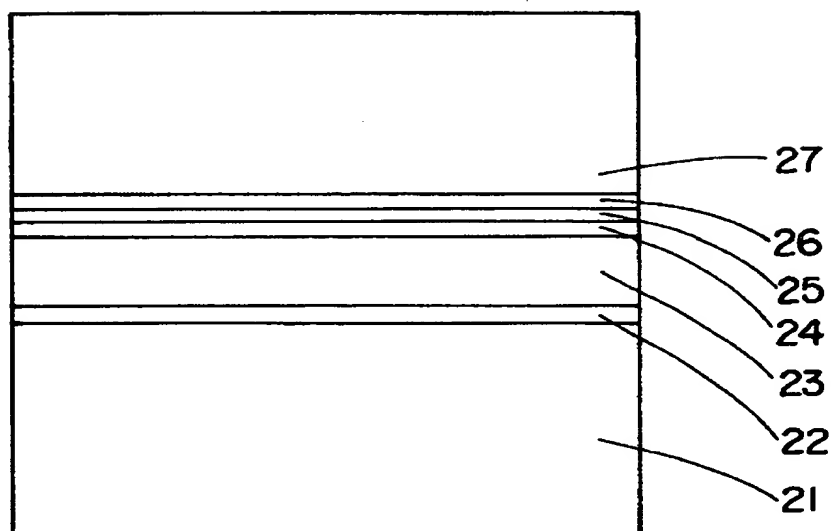
【図 5】



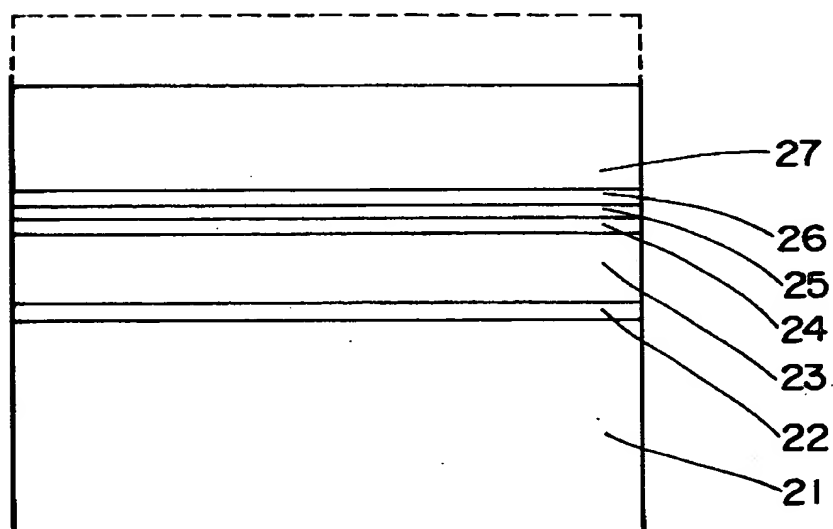
【図 6】



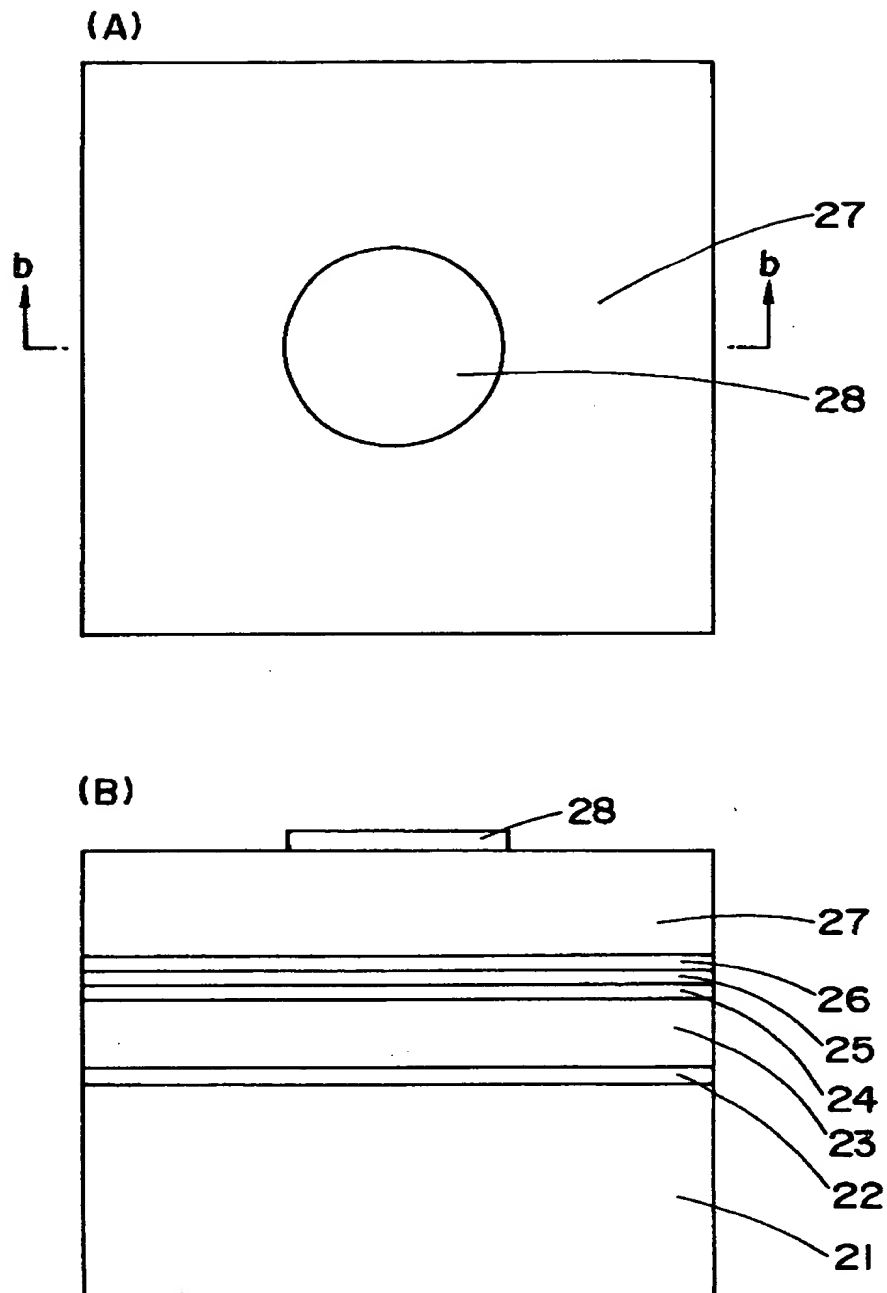
【図 7】



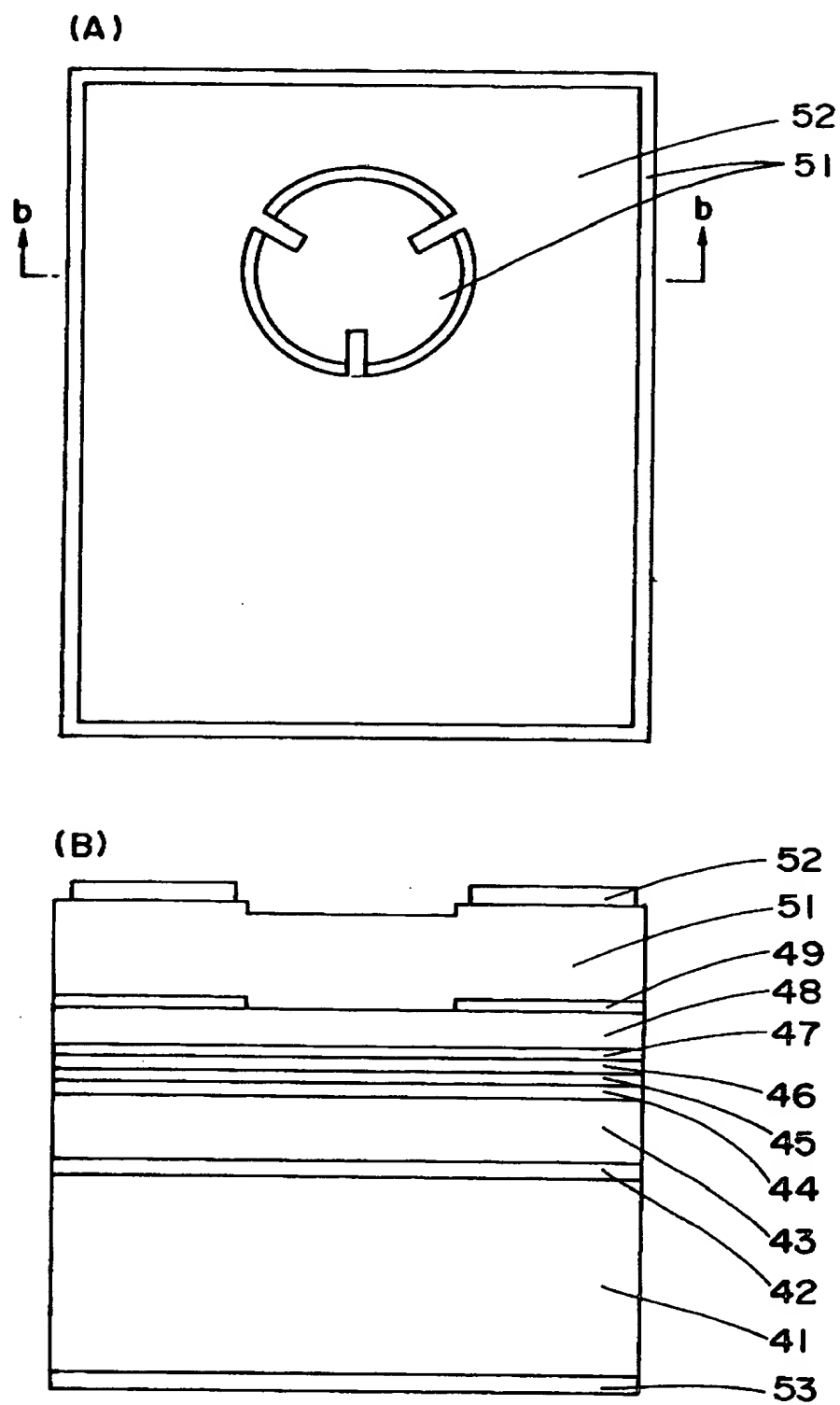
【図 8】



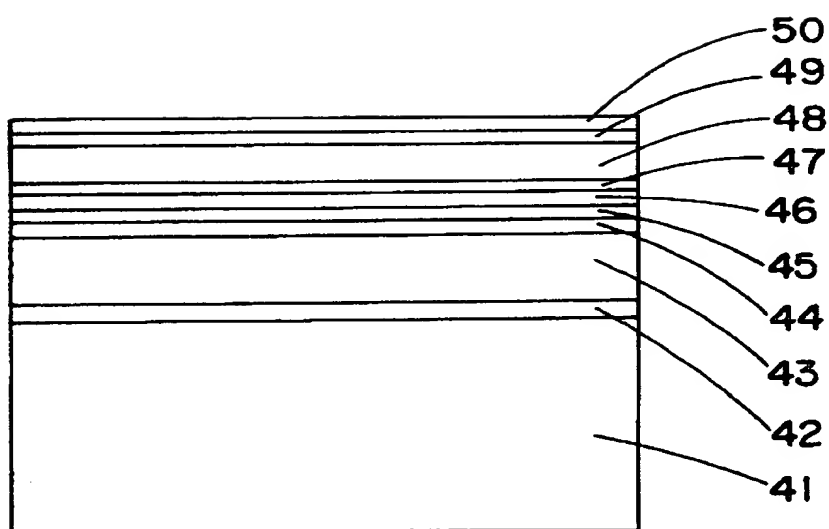
【図9】



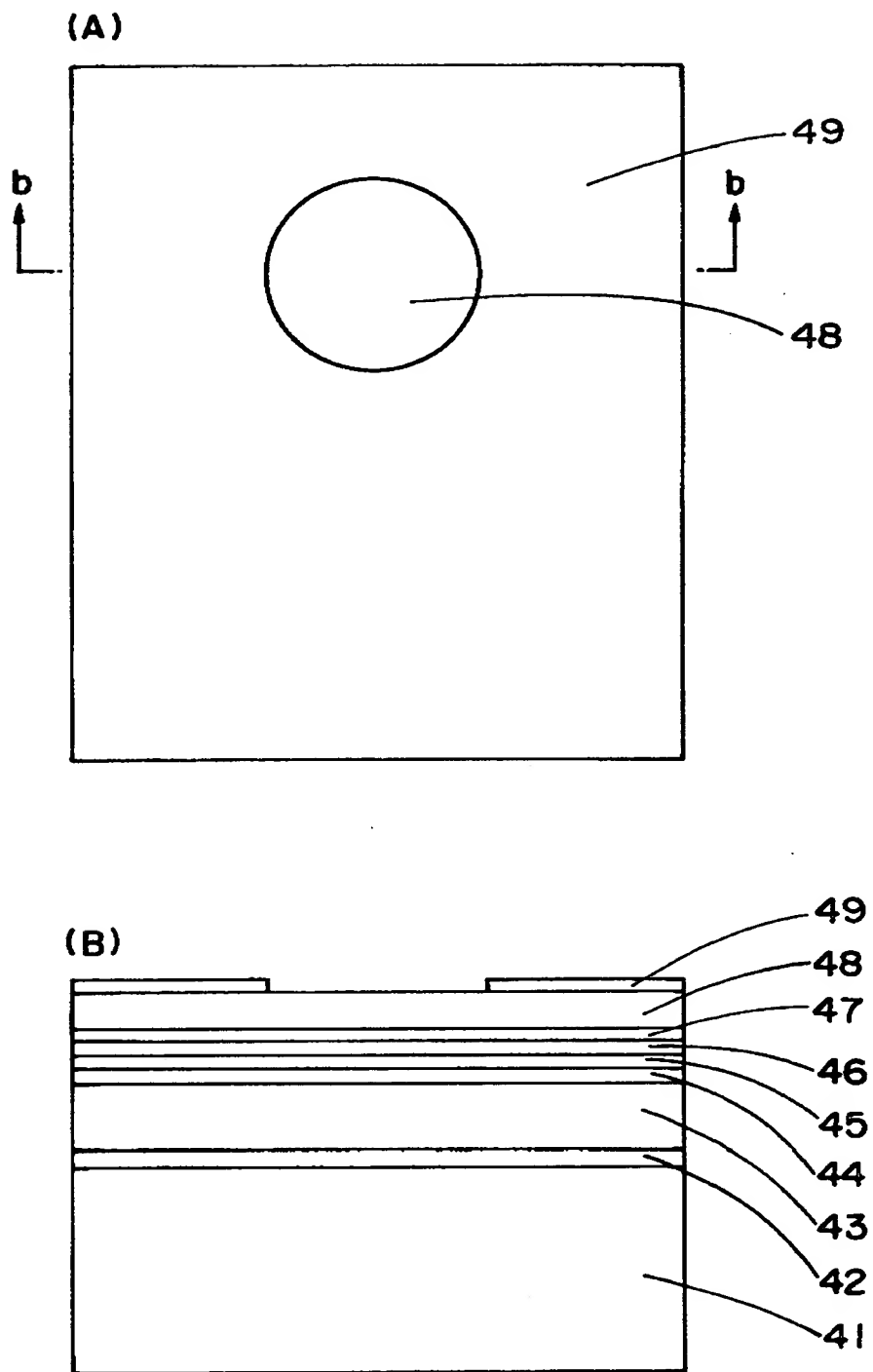
【図 10】



【図 1 1】

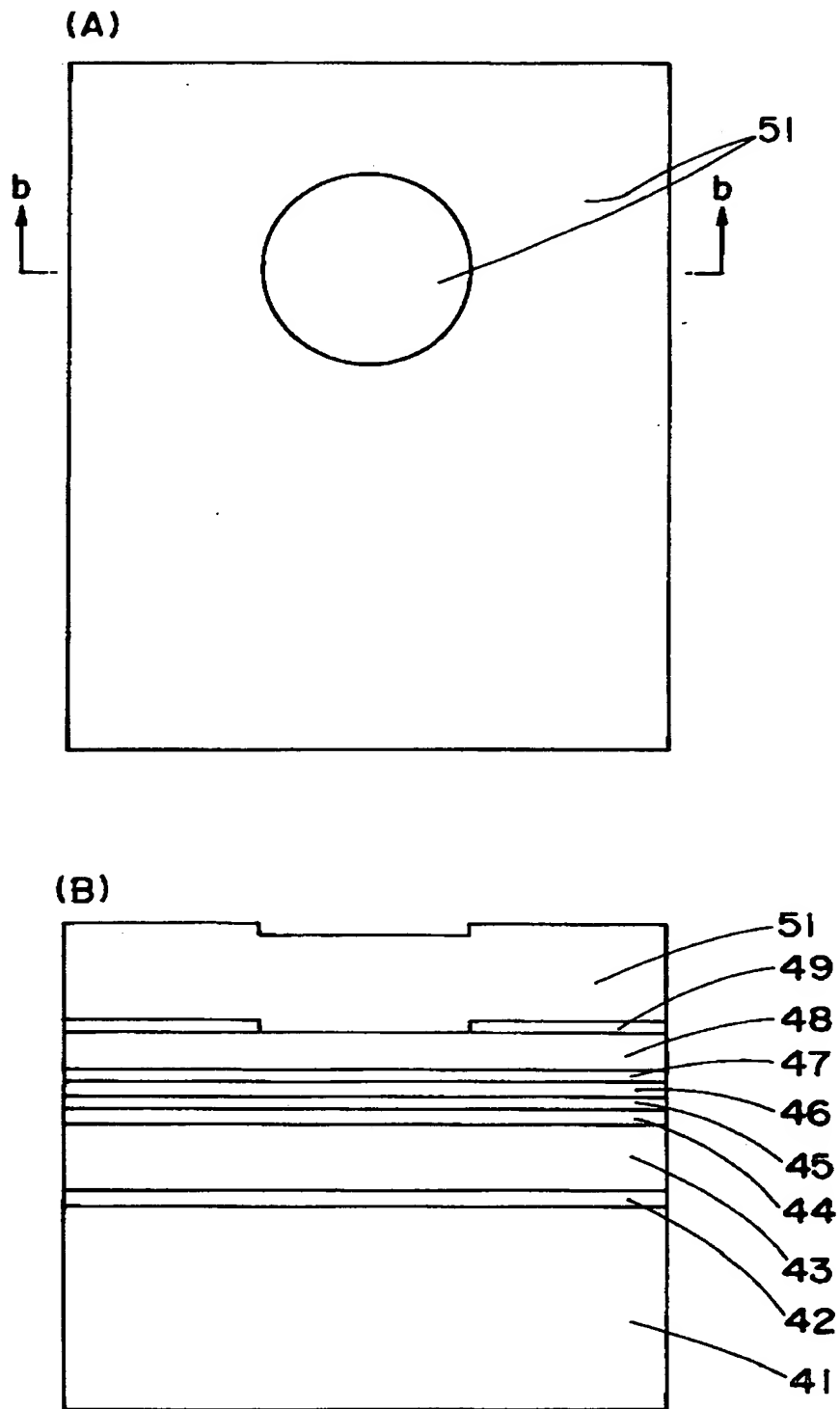


【図 1 2】

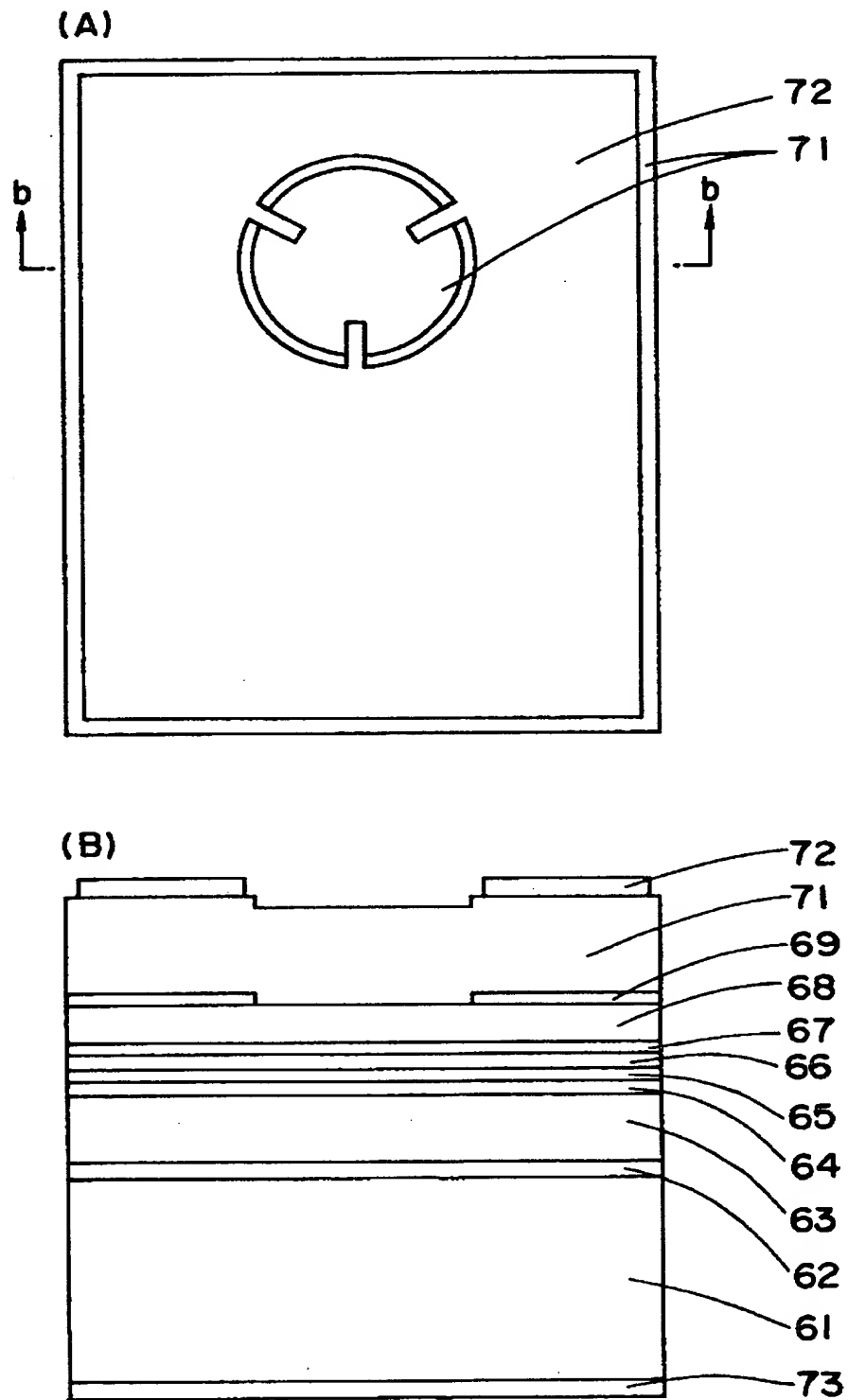




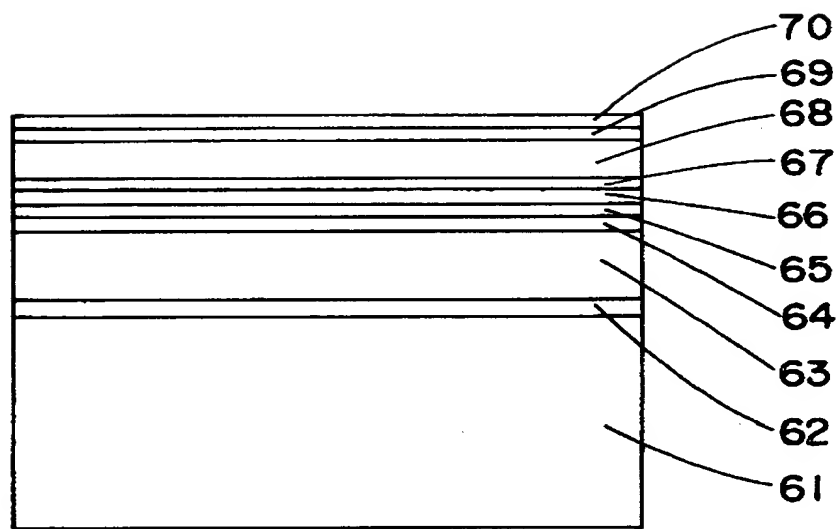
【図13】



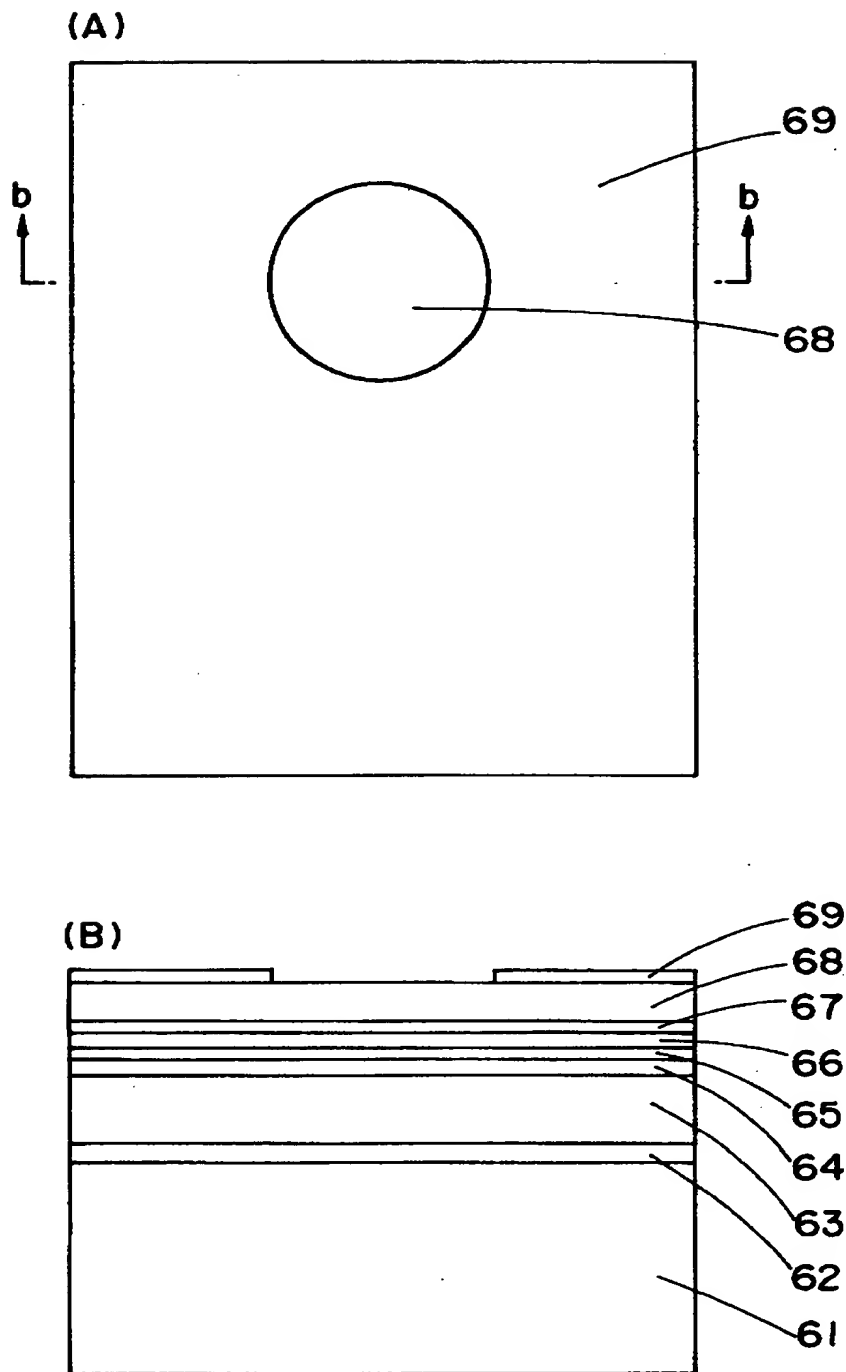
【図14】



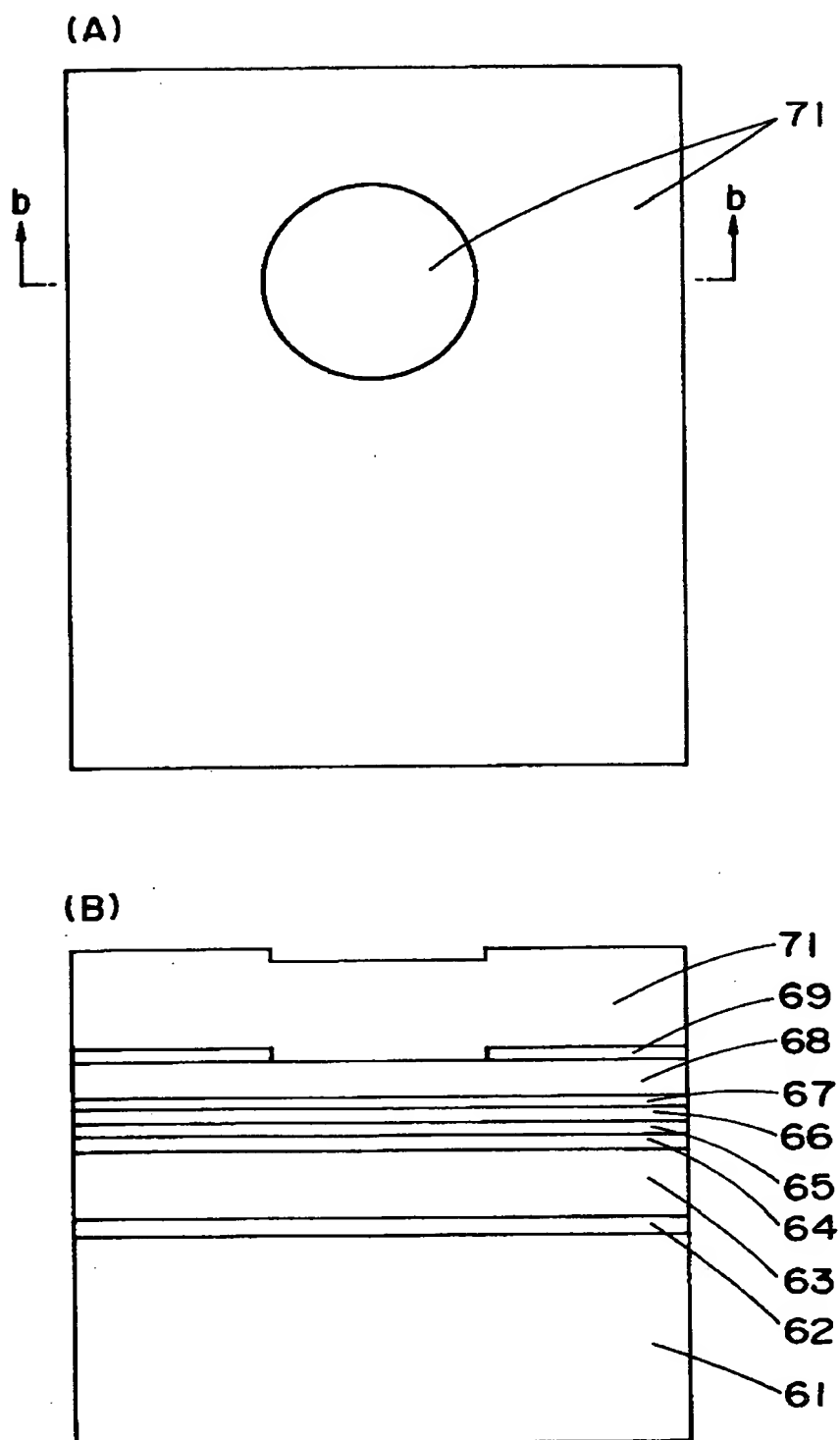
【図 1 5】



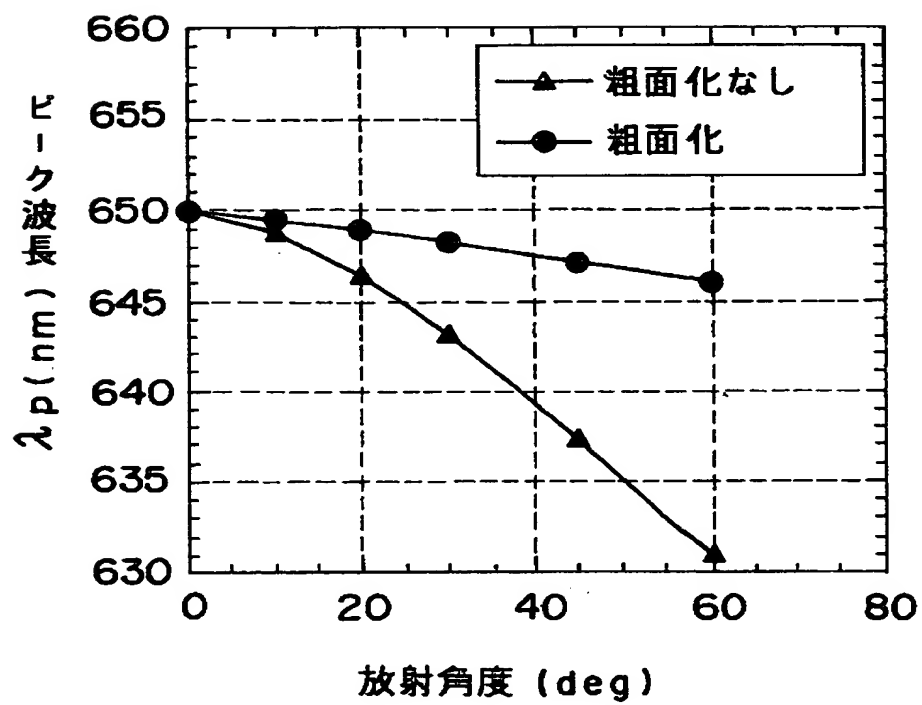
【図 1 6】



【図 1 7】

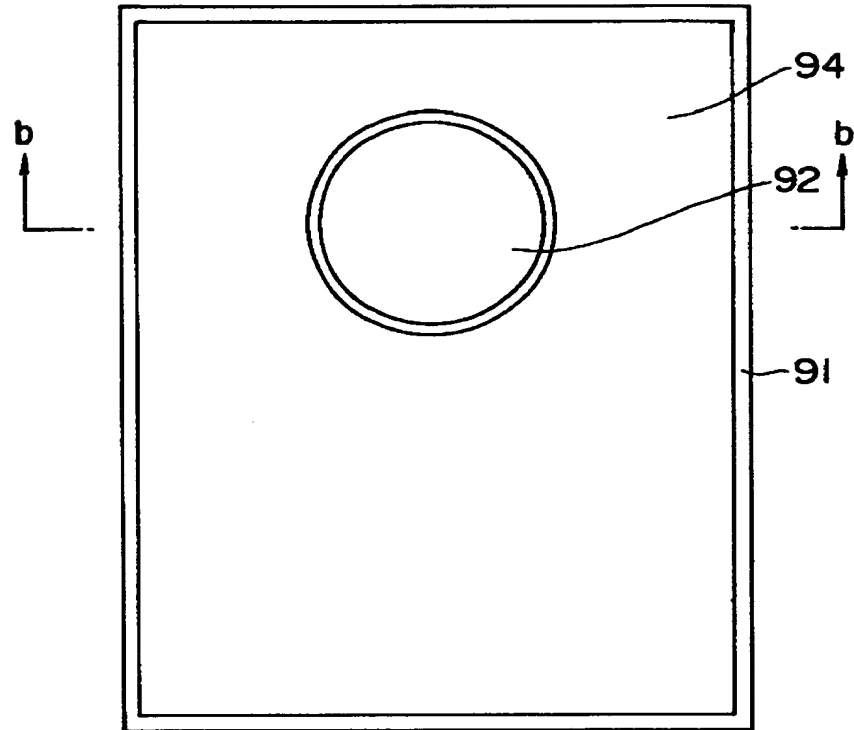


【図 1 8】

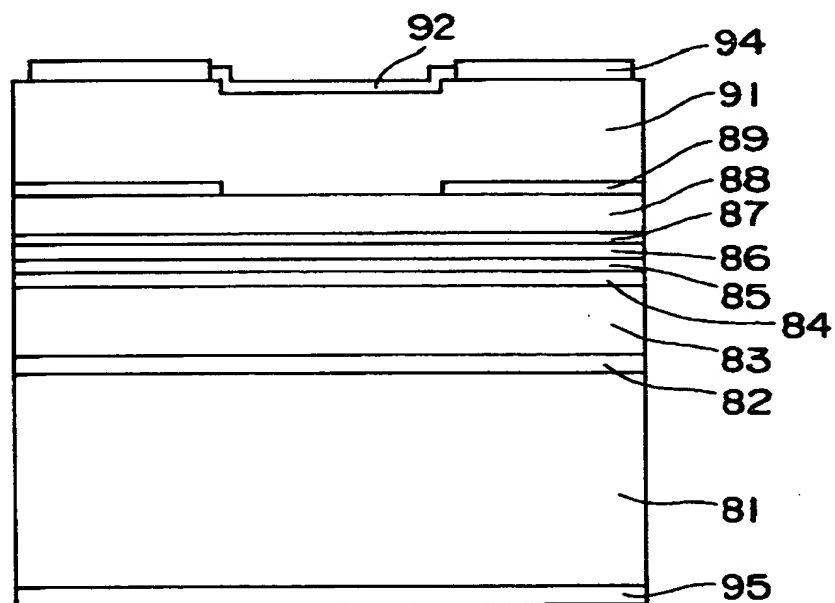


【図 1 9】

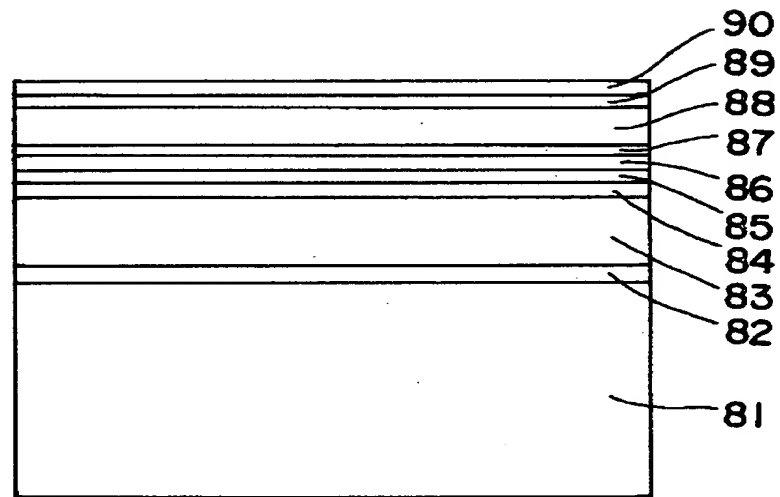
(A)



(B)



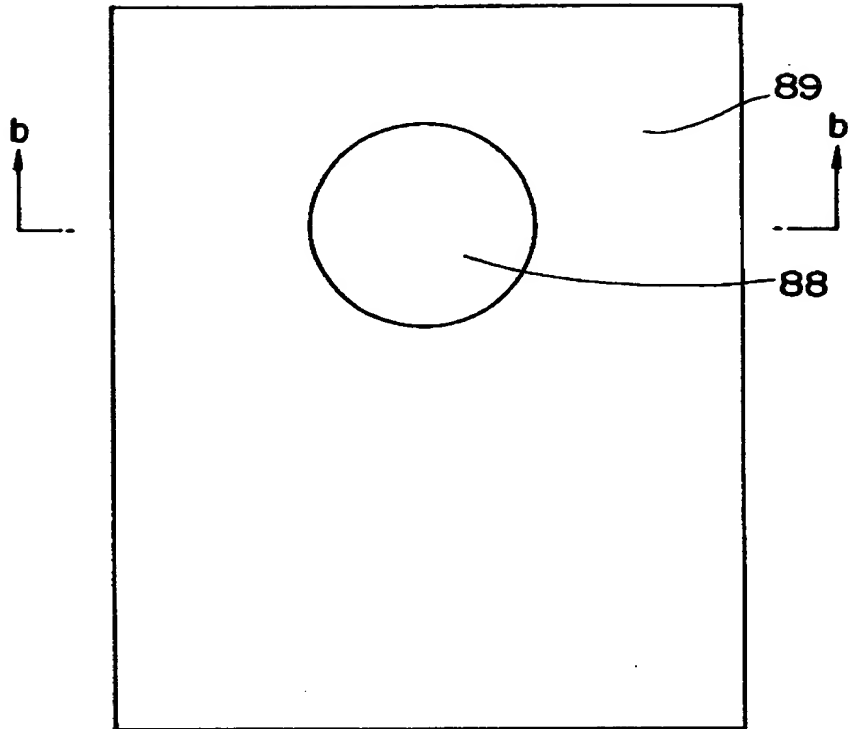
【図 2 0】



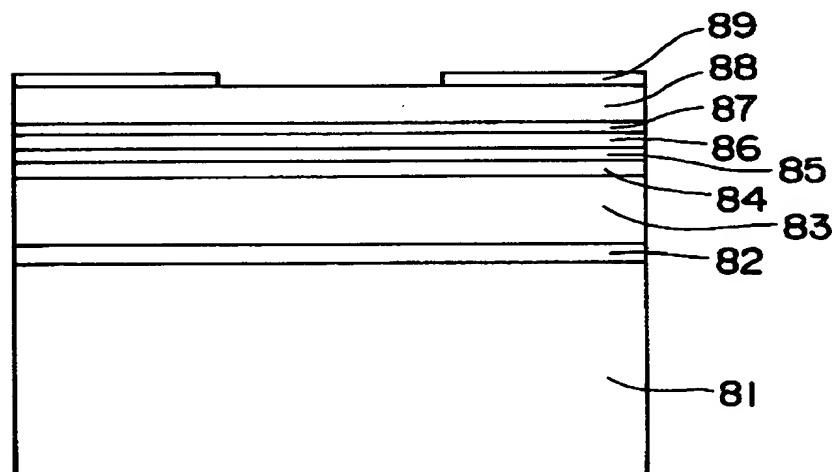


【図 2 1】

(A)

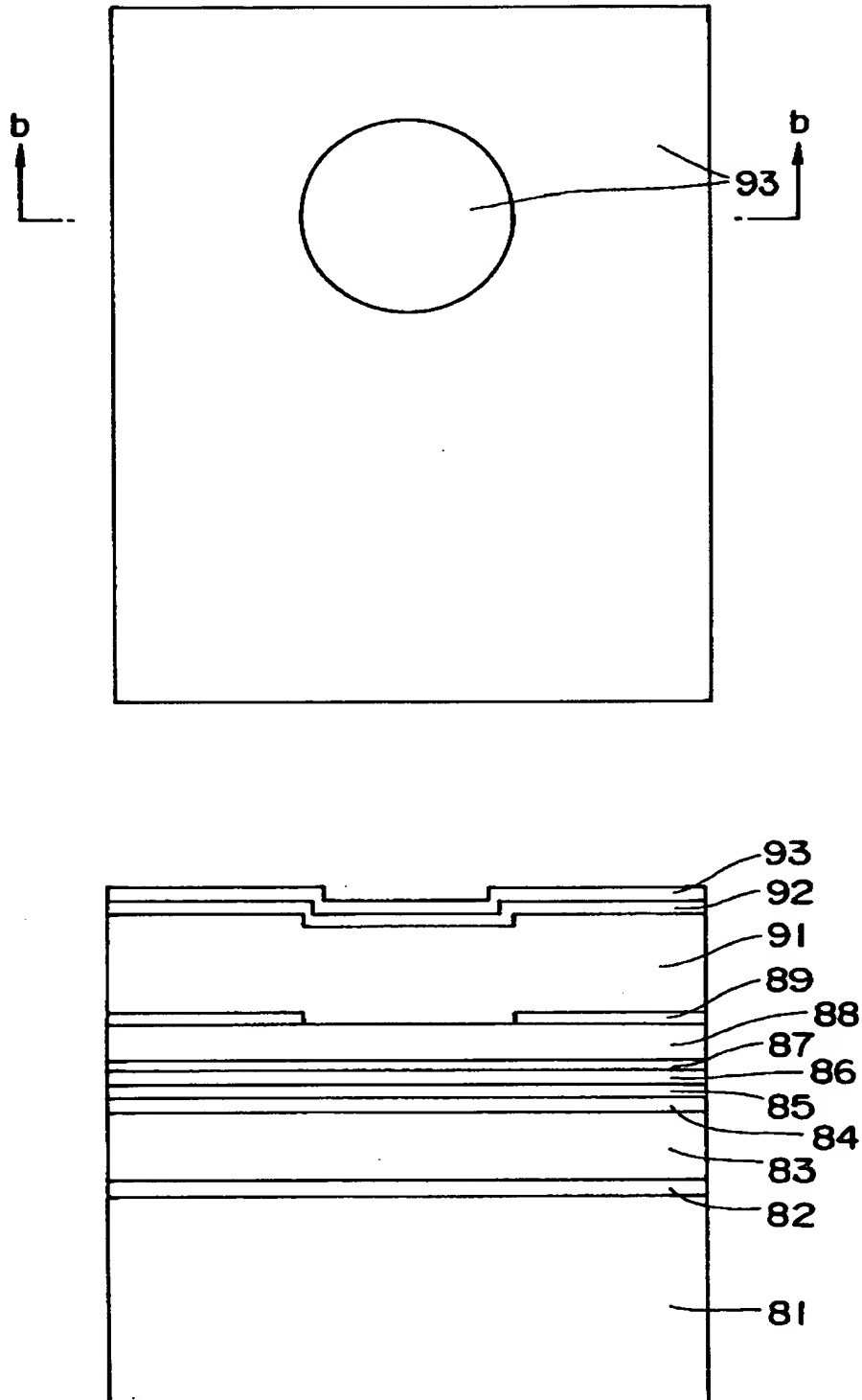


(B)



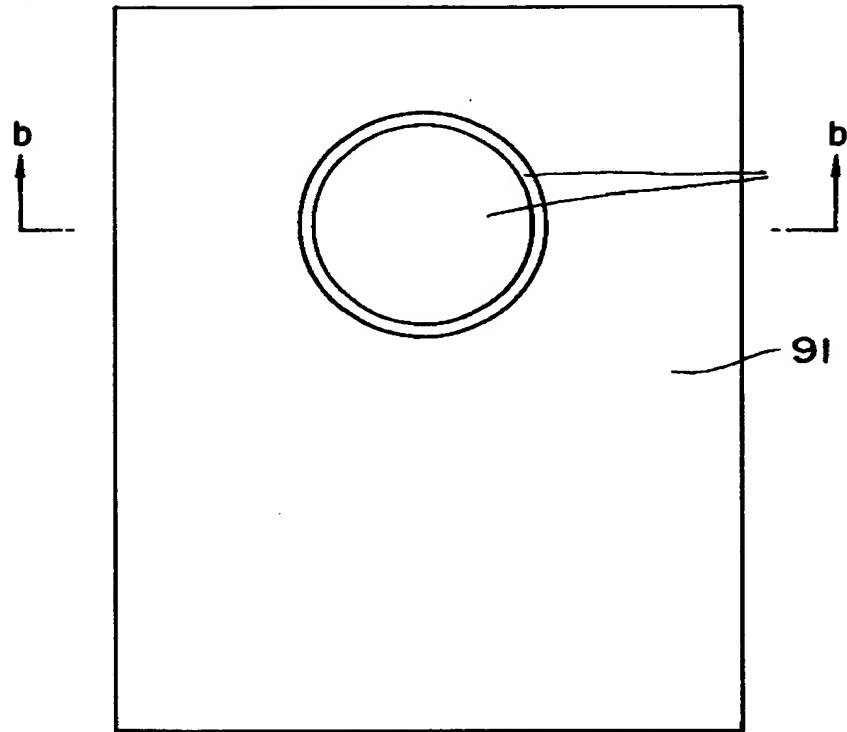
【図 22】

(A)

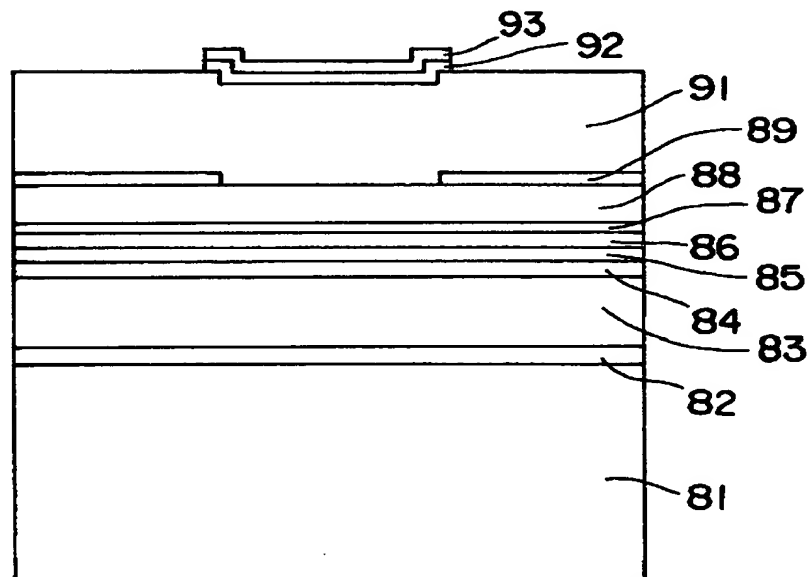


【図 2 3】

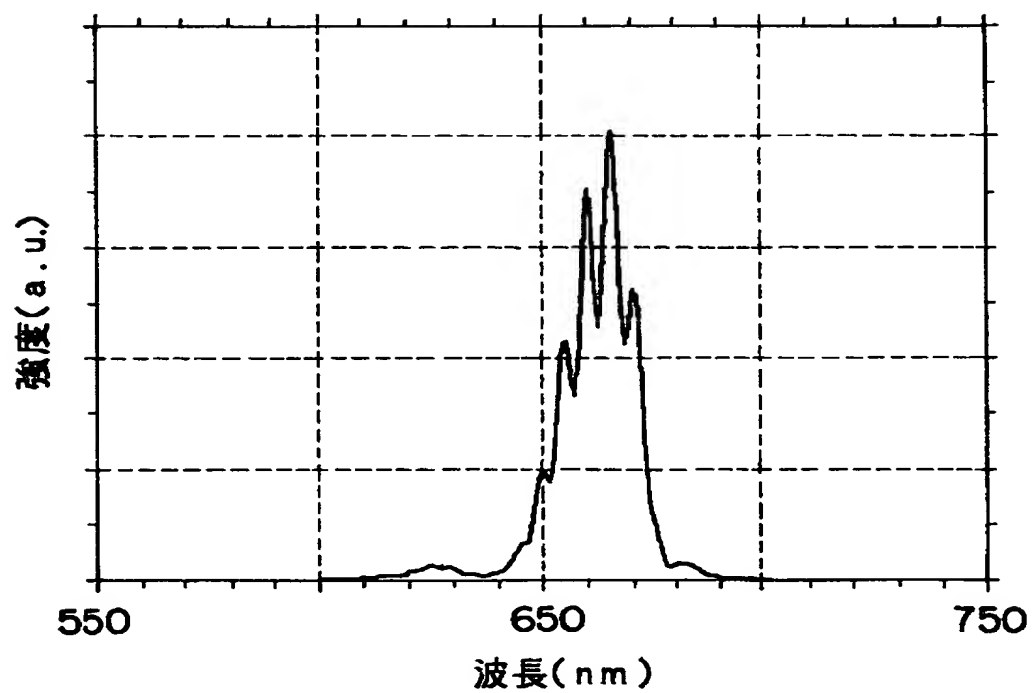
(A)



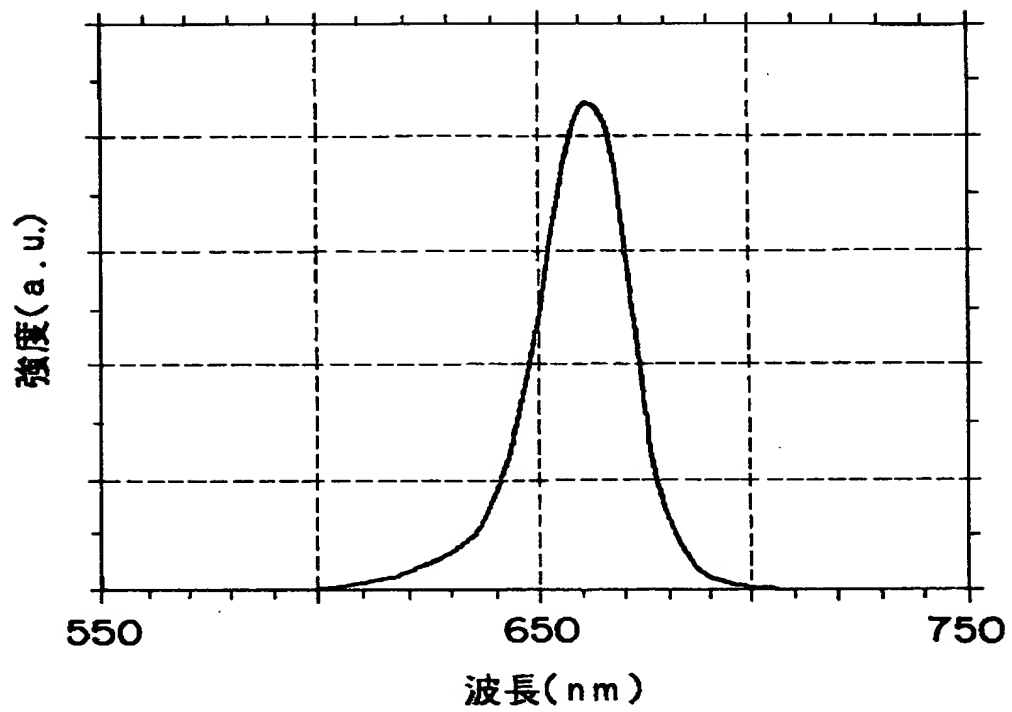
(B)



【図 2 4】



【図 2 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 発光波長の放射角依存性の小さい半導体素子およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 GaAs基板1上に、DBR(多層反射膜)3と、この上方に複数層の $Al_yGa_zIn_{1-y-z}P$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )からなる発光層5を形成する。発光層5上に層数が1以上の半導体層6～10が形成され、この半導体層9の表面に、フォトリソグラフィーおよび硫酸／過酸化水素系エCHANTによってエッチングして光を散乱する格子パターンを形成する。

【選択図】 図2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005049]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

氏 名 シャープ株式会社